

Perttu Tepponen

SUUNNITTELUOHJEIDEN LUOMINEN MODULAARISELLE TUOTEPERHEELLE VALMISTUSNÄKÖKULMASTA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Diplomityö
Helmikuu 2019

TIIVISTELMÄ

Perttu Tepponen: Suunnitteluohjeiden luominen modulaariselle tuoteperheelle valmistusnäkökulmasta
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Helmikuu 2019

Vaihteleviin asiakastarpeisiin pyritään vastaamaan modulaarisilla tuotteilla. Modulaariset tuotteet ovat muunneltavia tuotteita, jotka koostuvat vaihtokelpoisista moduuleista. Samoja vakioituja moduuleja voidaan hyödyntää useissa eri tuotteissa, mikä mahdollistaa suuren asiakasvariaatioiden määrän pienellä määrällä moduuleja.

Metsolla on käynnissä modulaarisuuden esiselvitysprojekti, jossa hyödynnetään modulaaristen tuotteiden kehitykseen tarkoitettua Brownfield-prosessia. Projektin tavoitteena on luoda pienen kokoluokan mobiiliseuloille tuoteperhe, jonka avulla selvitetään modulaarisen rakenteen toteuttamiskelpoisuutta. Projekti toimii oppimisalustana modulaariseen rakenteeseen.

Työssä luodaan ohjeet modulaarisen tuoteperheen suunnittelua varten, jotka huomioivat myös tuotteen valmistettavuuden. Suunnitteluohjeiden tarkoituksena on tarjota suunnittelijalle näkemys modulaarisuudesta, jonka avulla on mahdollista tehdä järkeviä ratkaisuja modulaarisuuden kannalta.

Tutkimusmenetelmänä käytetään toimintatutkimusta, jonka pohjana toimi kirjallisuusselvitys. Kirjallisuusselvityksessä perehdytään modulaarisen tuotteen suunnitteluohjeiden kannalta tärkeimpiin asioihin kuten modulaariseen tuotekehitykseen, modulaarisuuteen, moduuleihin, rajapintoihin, tilavarauksiin ja DFMA-näkökulmiin. Kirjallisuusselvityksen pohjalta kootaan suunnitteluohjeet.

Modulaarisuuden kannalta tärkeimpänä asiana voidaan pitää vakiointia lähes kaikissa elementeissä. Modulaarisuuden hyötyjen saavuttamiseksi on tärkeää pitää tuoteperheen arkkitehtuuri mahdollisimman kauan muuttumattomana. Muutokset arkkitehtuurissa aiheuttavat muutoksia rajapinnoissa ja sitä myöten moduuleissa. Uusien moduulien luominen tulee olla aina perusteltua ja niiden tulee sopia tuoteperheen arkkitehtuuriin. Moduulien suunnittelussa tulee pyrkiä mahdollisimman vakioituihin ratkaisuihin. Rajapintojen suunnittelussa tulee keskittyä vakiointiin ja yleiskäyttöisyyteen, sillä vakioidut rajapinnat mahdollistavat moduulien yhteensopivuuden ja vaihtokelpoisuuden. Moduuleille määritellään moduulikohtaiset tilavaraukset, jotka mahdollistavat moduulien vaihtokelpoisuuden ja itsenäisyyden. Lisäksi tilavaraus mahdollistaa moduulien kehittämisen erillisinä kokonaisuuksina ja vähentää moduulien yhteensopivuuden tarkastelua ympäristöön. Tuotteen valmistusnäkökulmat huomioidaan DFMA-menetelmällä sekä kirjoittajan luomilla suunnitteluperiaatteilla. Lisäksi ohjeissa käsitellään moduulien dokumentointia moduulilomakkeella, sekä rajapintojen ja tilavarausten dokumentointia.

Luodut suunnitteluohjeet ovat yleistettävät ohjeet modulaarisen tuotteen suunnitteluun. Suunnitteluohjeet eivät anna yksityiskohtaisia ratkaisuja ongelmiin, vaan nostavat esiin asioita, jotka tulee huomioida modulaarisen tuotteen suunnittelussa. Moniin tilanteisiin ei ole yhtä oikeaa ratkaisua, joten yleisillä ohjeilla saadaan nostettua esiin huomioitavia asioita. Suunnitteluohjeita ei työn laajuudessa päästä hyödyntämään käytännössä. Suunnitteluohjeiden on tarkoitus toimia pohjana käytännön suunnittelulle, jossa ohjeita päivitetään käytännön kokemusten ja havaintojen myötä.

Avainsanat: modulaarisuus, suunnitteluohjeet, modulaarisen tuotteen kehitys, rajapinta, tilavaraus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Perttu Tepponen: Creating Design Guidelines for Modular Product Family from Manufacturing Perspective
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Mechanical Engineering
February 2019

The aim is to respond to varying customer needs with modular products. Modular products are modifiable products consisting of interchangeable modules. The same standardized modules can be utilized in different products, which enables a large number of customer variations with a small number of modules.

There is an ongoing feasibility study project of modularization at Metso, where Brownfield-process is utilized. Brownfield-process is method made for developing modular products. The aim of the project is to create a product family for small size mobile screens. The project serves as a learning platform for a modular structure and helps to determine the feasibility of a modular design.

Guidelines for designing of modular product family are created in this work, which also consider product's manufacturing capability. The purpose of the design guidelines is to provide an insight into the modularity for the designer. This insight makes possible to make sensible solutions for modularity.

Action research is used as a research method which is based on the literature review. The literature review focuses on the most important issues in terms of modular product design guidelines, such as modular product development, modularity, modules, interfaces, space reservations, and DFMA-perspectives. Design guidelines are based on the literature review.

Standardization can be considered as the most important aspect of modularity in almost every element. In order to achieve the benefits of modularity, it is important to keep the product family architecture unchanged as long as possible. Changes in architecture cause changes in interfaces and so on in modules. Creation of new modules should always be justified and modules should fit into the product family architecture. Solutions as standard as possible should be used in the designing of modules. In the designing of interfaces, the focus should be on standardization and general usability, as standardized interfaces enable the compatibility and interchangeability of modules. Module-specific space reservations are defined for the modules, allowing the modules to be interchangeable and independent. In addition, space reservation allows the development of modules as separate entities and reduces the compatibility review of the environment. The production perspective is taken into account in DFMA-methods and in the design principles created by the author. In addition, the design guidelines consider the documentation of modules with a module form, as well as documentation of interfaces and space reservations.

Created design guidelines are general instructions for designing a modular product. The design guidelines do not provide detailed solutions to problems but raise issues that should be considered when designing a modular product. For many situations, there is no one-size-fits-all solution, so general design guidelines can help to raise issues to consider. The design guidelines cannot be utilized in the scope of the work. The design guidelines are intended to serve as a basis for practical design, where the guidelines will be updated with practical experience and observations.

Keywords: modularity, design guideline, modular product development, interface, space reservation

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on kirjoitettu Metso Minerals Oy:n Tampereen toimipisteessä. Työssä luodaan suunnitteluohjeet modulaariselle tuoteperheelle. Diplomityössäni pääsin hyödyntämään osaamistani opinnoista ja työelämästä sekä oppimaan paljon uutta modulaarisuudesta.

Olen kiitollinen mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta ja nopeasta aikataulusta, jolla projekti saatiin liikkeelle. Haluan kiittää työn ohjaajaa Vesa-Matti Salmista, muuta ST:n suunnitteluryhmää sekä ST:n tuotannon toimihenkilöitä erinomaisista neuvoista ja ohjeistuksista työn edistämiseksi. Lisäksi haluan kiittää muita Metson diplomityöntekijöitä, jotka ovat toimineet erinomaisena vertaistukena. Haluan kiittää myös työn tarkastajaa Timo Lehtosta todella mielekkästä ja kannustavasta ohjauksesta. Hän antoi paljon hyviä näkökulmia työhön.

Lisäksi halua kiittää ystäviäni ja perhettäni, jotka ovat tukeneet minua ja kannustaneet jatkamaan opintoja ammattikoulusta eteenpäin. Viimeisenä lämpimin kiitos Idalle, joka on tukenut minua työtä tehdessäni ja antanut uskoa työn valmistumiseen.

Budapestissa, 4.2.2019

Perttu Tepponen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	TUTKIMUKSEN KUVAUS	2
2.1	Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset	2
2.2	Tutkimusmenetelmät	2
2.3	Työn rakenne ja rajaus	3
3.	TEORIA	5
3.1	Design for X	5
3.2	Design for Manufacturing and Assembly	7
3.3	Modulaarisuus	10
3.3.1	Modulaarisuus ja moduulit	12
3.3.2	Rajapinnat	17
3.3.3	Tilavaraus	19
3.3.4	Modulaarinen tuotekehitys	21
3.3.5	Laajentamis- ja supistamisstrategiat	25
3.4	Brownfield-prosessi	27
3.4.1	Brownfield-prosessin moduulijärjestelmä	28
3.4.2	Vaihe 1: Tavoitteiden asetus liiketoimintaympäristön perusteella	30
3.4.3	Vaihe 2: Moduulijärjestelmän geneeriset elementit	31
3.4.4	Vaihe 3: Arkkitehtuuri: rajapinnat geneeristen elementtien välillä	31
3.4.5	Vaihe 4: Tavoitteiden asetus asiakasympäristön perusteella	33
3.4.6	Vaihe 5: Alustava tuoteperheen kuvaus	34
3.4.7	Vaihe 6: Konfiguraatiotieto: geneeriset elementit ja asiakastarpeet	36
3.4.8	Vaihe 7: Modulaarinen arkkitehtuuri: Moduulit ja rajapinnat	37
3.4.9	Vaihe 8: Konfiguraatiotieto: moduulivariantit ja asiakastarpeet	39
3.4.10	Vaihe 9: Tuoteperheen dokumentaatio	40
3.4.11	Vaihe 10: Liiketoimintavaikutusten analyysi	41
3.5	Suunnittelusäännöt	43
4.	CASE: METSO	44
4.1	Metso ja tuotteet	44
4.2	ST-mobiiliseula	45
4.3	Mobiiliseulan nykyiset ongelmat	46
4.4	Modulaarisuuden esiselvitysprojekti	49
4.4.1	Projektin lähtökohdat	49
4.4.2	Projektin tuotokset	49
5.	SUUNNITTELUOHJEIDEN LUOMINEN	51
5.1	Lähtökohdat	51
5.2	Arkkitehtuuri	51

5.3	Moduulit	55
5.4	Yleiset suunnitteluperiaatteet	57
5.5	Rajapinnat.....	62
5.6	Tilavaraus	65
5.7	DFMA-menetelmät	66
5.8	Toleranssien hallinta	68
5.9	Moduulien dokumentointi	69
5.10	Tilavarauksen ja rajapintojen dokumentointi.....	72
6.	TULOKSET JA KESKUSTELU	74
6.1	Tulokset.....	74
6.2	Tutkimuskysymykset	76
6.3	Keskustelu ja jatkokehitys.....	77
7.	YHTEENVETO	79
	LÄHTEET.....	82

LIITE A: SUUNNITTELUOHJEET MODULAARISELLE TUOTEPERHEELLE

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Tuotteen arkkitehtuurin, suuren DFX:n ja pienen DFX:n yhteys. (Whitney 2004, s. 416).....</i>	<i>6</i>
Kuva 2.	<i>Yhteneväisyyksien ja varioituvuuden syy-seurauskaavio. (Juuti 2008, s. 1-6).....</i>	<i>11</i>
Kuva 3.	<i>Elinkaarimodulaarisuuden tyypit ovat tuotanto-, huolto- tai logistiikkaperusteisia. Moduulit esitetään kuvassa kirkkailla väreillä. (Lehtonen 2007, s. 90).....</i>	<i>14</i>
Kuva 4.	<i>Modulaarisuuden kuusi eri tyyppiä. (Pine 1993).....</i>	<i>15</i>
Kuva 5.	<i>Tuotteen eri tasot ja keinot vaikuttaa niihin. (Erixon 1998, s. 50).....</i>	<i>16</i>
Kuva 6.	<i>Rajapintojen ja vuorovaikutuksen suunnittelulla ja toimintojen jakamisella on suuri vaikutus moduulien yleiseen käytettävyyteen. (Miller, Elgård 1998, s. 14).....</i>	<i>17</i>
Kuva 7.	<i>Variaation tyypit arkkitehtuurisen standardin mukaan. (Kreimeyer et al. 2014, s. 7)</i>	<i>20</i>
Kuva 8.	<i>Modular Function Deployment -menetelmän viisi vaihetta. (Erixon 1998, s. 65)</i>	<i>21</i>
Kuva 9.	<i>QFD-matriisia käytetään asiakastarpeiden ja suunnitteluvaatimusten suhteen määrittämisessä. (Erixon 1998, s. 67)</i>	<i>22</i>
Kuva 10.	<i>Module Indication Matrix -menetelmää hyödynnetään moduulien muodostamisessa. (Erixon 1998, s. 78)</i>	<i>23</i>
Kuva 11.	<i>Rajapintojen tunnistusmatriisi. (Erixon 1998, s. 84)</i>	<i>24</i>
Kuva 12.	<i>Laajentamis- ja supistamisstrategiat. (Miller & Elgård 1998).....</i>	<i>26</i>
Kuva 13.	<i>Brownfield-prosessin vaiheet ja niihin liittyvät moduulijärjestelmän pääelementit. (Pakkanen 2015, s. 172)</i>	<i>28</i>
Kuva 14.	<i>DSM-työkalulla tunnistetaan eri geneeristen elementtien väliset rajapinnat. (Pakkanen 2015, s. 192)</i>	<i>32</i>
Kuva 15.	<i>Esimerkki alustavasta arkkitehtuurista, jossa on geneeriset elementit ja niiden väliset rajapinnat. (Pakkanen 2015, s. 193).....</i>	<i>33</i>
Kuva 16.	<i>BfP:n muokattu PFMP, jossa alustava tuoteperheen kuvaus suoritetaan kolmen näkökulman avulla. (Pakkanen 2015, s. 197).....</i>	<i>35</i>
Kuva 17.	<i>Esimerkki BfP:ssa käytettävästä muunnellusta Bongulielmin (2002, s. 4–5) K-matriisisista. (Pakkanen 2015, s. 201)</i>	<i>37</i>
Kuva 18.	<i>Seitsemännen vaiheen arkkitehtuurin lähtökohdat geneeriset elementtien ja niiden rajapintojen määrittelylle. (Pakkanen 2015, s. 204).....</i>	<i>38</i>
Kuva 19.	<i>Esimerkki tuoteperheen arkkitehtuurista, jossa geneeriset elementit on tunnistettu. (Pakkanen 2015, s. 206)</i>	<i>39</i>

Kuva 20.	<i>Modulaarisen tuoteperheen valmis konfiguraatiotieto täydennettynä kuudennessa vaiheessa käytettyyn K-matriisiin. (Pakkanen 2015, s. 209)</i>	<i>40</i>
Kuva 21.	<i>PSBP visualisoi päättelyketjun asiakastarpeen ja tuoteperheen välillä. (Pakkanen 2015, s. 212)</i>	<i>41</i>
Kuva 22.	<i>Moduulijärjestelmän vaikutuksien arviointi liiketoimintaan. (Pakkanen 2015, s. 215)</i>	<i>42</i>
Kuva 23.	<i>Metson tarjoama. (Metso Vuosikatsaus 2017, s. 14).....</i>	<i>44</i>
Kuva 24.	<i>Metso ST2.4 mobiiliseula. (Lokotrack ST2.4 mobile scalping screen. 2011)</i>	<i>45</i>
Kuva 25.	<i>ST2.8 mobiiliseulan toimintaperiaate. (Lokotrack ST2.8 Mobile scalping screen. 2014).....</i>	<i>45</i>
Kuva 26.	<i>ST4.8 ylitekuljettimen kiinnitys H-tukeen.</i>	<i>47</i>
Kuva 27.	<i>H-tuen alapään kiinnityksen hitsaus.</i>	<i>48</i>
Kuva 28.	<i>Mobiiliseulojen tuoteperheen arkkitehtuuri. Moduulien väliset nuolet esittävät rajapintoja.....</i>	<i>50</i>
Kuva 29.	<i>Muutoksen vaikutukset tuotteeseen.....</i>	<i>54</i>
Kuva 30.	<i>Moduulien muodostuminen geneerisistä elementeistä.</i>	<i>56</i>
Kuva 31.	<i>Moottorimoduulin kiinnitys mobiiliseulan runkoon.</i>	<i>58</i>
Kuva 32.	<i>Telojen kiinnitys mobiiliseulan runkoon.</i>	<i>59</i>
Kuva 33.	<i>Sivukuljettimen kuljetustuen kuppi.</i>	<i>60</i>
Kuva 34.	<i>H-tuen kiinnitys mobiiliseulan runkoon.</i>	<i>61</i>
Kuva 35.	<i>Esimerkki hyvästä tasomaisesta hydrauliiikan rajapinnasta, johon letkut on helppo kiinnittää molemmista suunnista.</i>	<i>63</i>
Kuva 36.	<i>Moduulilomakkeessa on kuvattuna moduulin perustiedot. (Avak 2006, s. 787)</i>	<i>70</i>
Kuva 37.	<i>Uudelleensuunnittelun vaiva rajapinnan muutoksen funktiona. (Hölttä & Otto 2005, s. 474, Avak 2006, s. 788 mukaan)</i>	<i>71</i>
Kuva 38.	<i>Moduulin tilavarauksen ja rajapintojen 3d-dokumentaatio.....</i>	<i>72</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BfP	Brownfield-prosessi, modulaarisen tuotteen kehitysmenetelmä
CSL	Company Strategic Landscape, yrityksen liiketoimintaympäristön selvitysmenetelmä
DFA	Design for Assembly, suunnittelu asennusnäkökulmasta
DFM	Design for Manufacturing, suunnittelu valmistusnäkökulmasta
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly, suunnittelu valmistettavuuden ja asennettavuuden näkökulmasta
DFX	Design for X, suunnittelu tietyn asian näkökulmasta
MFD	Modular Function Deployment, modulaarisen tuotteen kehitysmenetelmä
MIM	Module Indication Matrix, moduulien muodostusmatriisi
PFMP	Product Family Master Plan, tuoteperheen kuvausmenetelmä
PSBP	Product Structuring Blue Print, modulaarisen tuoteperheen dokumentaatiomenetelmä
QFD	Quality Function Deployment, asiakastarpeiden ja suunnitteluvaatimusten suhteiden määrittäytökalu

1. JOHDANTO

Tuotekehitys on keskeinen teema yrityksen liiketoiminnassa. Modulaaristen tuotteiden kehityksellä pyritään vastaamaan markkinoiden muuttuviin tarpeisiin. Modulaariset tuotteet ovat asiakaskohtaisesti muunneltavissa ja niillä pyritään saavuttamaan kilpailuetua vastaamalla tehokkaasti erilaisiin asiakastarpeisiin. Tätä kilpailuetua myös Metso pyrkii saavuttamaan. Metsolla on käynnissä modulaarisuuden esiselvitysprojekti, jonka yhtenä kohteena on ST-mobiiliseulat. Projektin tavoitteena on luoda modulaarinen tuoteperhe pienen kokoluokan mobiiliseuloille. Tämän projektin tarkoituksena on selvittää modulaarisen rakenteen toteuttamiskelpoisuutta. Projektissa on hyödynnetty Pakkasen (2015) luomaa modulaariseen tuotekehitykseen tarkoitettua Brownfield-prosessia. Tavoitteena on pienentää tuoteportfolion monimutkaisuutta käyttämällä yhteisiä moduuleita ja siten vähentää osien kokonaismäärää. Tämän avulla saadaan kasvatettua asiakasvariaatioiden määrää, vaikka osien lukumäärää pienennetään. Lisäksi tuotteen valmistuskustannuksia pyritään pienentämään.

Modulaarista käytännön suunnittelua varten tarvitaan suunnitteluohjeet, jotka luodaan tässä työssä. Työn tavoitteena on luoda suunnitteluohjeet modulaariselle tuoteperheelle, jotka huomioivat valmistusnäkökulman. Suunnitteluohjeiden tavoitteena on antaa suunnittelijalle käsitys modulaarisuudesta, jonka avulla modulaarisuuden kannalta järkevien ratkaisujen teko on mahdollista.

Suunnitteluohjeet painottuvat käytännön suunnittelua koskeviin ohjeistuksiin, mutta niissä on huomioituna myös laajempi näkökulma. Pelkillä loppuvaiheen suunnittelun ratkaisuilla ei saada merkittäviä etuja aikaiseksi, joten ohjeissa käsitellään myös tuoteperheen arkkitehtuuria ja sen hallintaa. Modulaarisuuden hyötyjen saavuttamiseksi on tärkeää ymmärtää, mitkä asiat ovat modulaarisuuden kannalta edullisia ja mitä tulisi välttää.

Modulaarisella rakenteella koetaan olevan hyötyä, mutta kuitenkin kaikki modulaariset tuotekehitysprojektit eivät ole onnistuneet. Tällä tutkimuksella pyritään täyttämään aukko menestyksekkäästi hyödynnetyn Brownfield-prosessin ja valmiin tuoteperheen välillä modulaarisuuden hyötyjen saavuttamiseksi. Tutkimus suoritetaan toimintatutkimuksena, jonka pohjana toimii kirjallisuusselvitys. Kirjallisuusselvityksessä käsitellään modulaarisen tuotteen suunnittelun kannalta tärkeitä teemoja.

2. TUTKIMUKSEN KUVAUS

Tässä kappaleessa kuvataan tutkimuksen tavoitteet, tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät. Lisäksi esitellään työn rakenne.

2.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Kirjallisuudesta löytyy useita erilaisia modulaarisen tuotteen kehitysmenetelmiä. Kehitysmenetelmät eivät usein kuitenkaan ota kantaa konkreettiseen loppuvaiheen suunnitteluprosessiin vaan käsittelevät asiaa yleisellä tasolla. Metsolla on käynnissä modulaarisen tuoteperheen kehitysprojekti, jossa hyödynnetään Brownfield-prosessia. Brownfield-prosessi ei myöskään ota kantaa kuinka varsinainen suunnittelu tulisi suorittaa.

Modulaaristen rakenteiden hyödyt on havaittu useissa yrityksissä, mutta kaikki modulaariset tuotekehitysprojektit eivät ole kuitenkaan onnistuneet. Pakkasen (2015, s. 203) mukaan teollisten tuotteiden modulointia käsittelevissä akateemisissa julkaisuissa harvoin käsitellään yksityiskohtaisia toimenpiteitä ja ratkaisuja. Hänen mukaan näitä asioita voidaanakin pitää yrityksen ydinosaamisena, jota ei haluta paljastaa kilpailijoille. Modulaarisuuden hyötyjen saavuttamiseksi tällä tutkimuksella pyritään täyttämään aukko menestyksekkäästi hyödynnetyn Brownfield-prosessin ja valmiin tuoteperheen välillä.

Tutkimusongelman pohjalta luotiin tutkimuskysymykset:

1. *Miten modulaarinen tuoterakenne vaikuttaa suunnittelijan työhön?*
2. *Mitä suunnitteluohjeiden tulisi pitää sisällään, jotta moduloinnin hyödyt saavutetaan?*
3. *Miten valmistusnäkökulma on huomioitava modulaarisessa tuotekehityksessä?*
4. *Miten modulaarisen tuotteen hyödyt saadaan kerättyä pitkällä aikavälillä?*

2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen tavoitteena on kerätä tietoa kirjallisuudesta modulaarisen rakenteen konkreettisesta suunnittelusta ja sen pohjalta luoda ohjeet suunnitteluun. Kirjallisuudessa ei ole juurikaan yksityiskohtaisesti tätä asiaa käsitteleviä julkaisuja. Kirjallisuudesta tutkitaan modulaarisen tuotekehityksen kannalta tärkeänä pidettyjä asioita ja niiden pohjalta kootaan suunnitteluohjeet modulaariselle tuoteperheelle. Yrityksen näkökulmasta suunnitteluohjeilla pyritään ohjaamaan suunnittelija tekemään oikeita ratkaisuja hyvän valmistettavuuden näkökulmasta ja huomioimaan modulaarisuuden vaatimukset. Suunnitte-

luohjeiden kannalta tärkeitä teemoja ovat moduulit, modulaarisuus, modulaarinen tuotekehitys, rajapinnat ja tilavaraus. Lisäksi selvitykseen on otettu mukaan valmistus- ja asennusnäkökulmat.

Tutkimusta voidaan pitää tieteellisestä näkökulmasta toimintatutkimuksena. Toimintatutkimuksella pyritään ratkaisemaan käytännön ongelma ja aikaansaamaan muutos yksikössä (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006). Suunnitteluohjeet luodaan kirjallisuuden ja suunnitteluorganisaation kokemusten perusteella. Suunnitteluohjeilla pyritään kehittämään suunnitteluorganisaation toimintatapoja, mutta niitä ei ole mahdollista tämän työn laajuudessa testata.

2.3 Työn rakenne ja rajaus

Tässä työssä käsitellään modulaarisen tuotekehityksen loppuvaiheen suunnittelua valmistusnäkökulmasta. Metson modulointiprojektissa on käytössä Brownfield-prosessi, joten työssä ei vertailla modulaarisia tuotekehitysprosesseja. Kehitysprojektin Brownfield-prosessissa on määritelty tuotteiden moduulijako ja moduulien sisältö, joten tässä työssä keskitytään tämän jälkeiseen moduulien suunnitteluun. Yksityiskohtaisia ratkaisuja ei suunnitella, vaan työ keskittyy suunnittelun ohjeistukseen ja sen periaatteisiin.

Työ aloitetaan kappaleen kolme kirjallisuusselvityksellä, jossa perehdytään suunnitteluohjeiden kannalta oleellisiin asioihin. Kirjallisuusselvityksen aluksi tutkitaan valmistus- ja asennusnäkökulmia suunnittelun kannalta. Sitten siirrytään modulaarisuuteen ja siihen liittyviin teemoihin, kuten moduuleihin, rajapintoihin ja tilavarauksiin. Lopuksi kirjallisuusselvityksessä käsitellään modulaarisen tuotteen kehitysmenetelmiä.

Kappaleessa neljä keskitytään Metsoon, sen tuotteisiin ja käytännön Brownfield-prosessiin. Osioissa esitellään yritys ja sen tuotteita sekä mobiiliseulan sijoittuminen yrityksen liiketoimintaan. Osiossa käsitellään myös nykyisissä tuotteissa esiintyviä ratkaisuja ja niistä johtuvia ongelmia. Nykyisiä ongelmia on käytetty esimerkkinä huonoista ratkaisuista, jotka halutaan välttää uusilla suunnitteluohjeilla. Lisäksi kappaleessa esitellään modulaarisen tuotekehitysprosessin lähtökohdat ja tuotokset. Projektissa käytetty Brownfield-prosessi ja sen välivaiheet rajautuvat tämän työn ulkopuolelle ja näin ollen projekti esitellään pintapuolisesti.

Viides kappale käsittelee suunnitteluohjeita ja niiden luomista. Osiossa esitellään suunnitteluohjeiden kannalta tärkeitä teemoja ja asioita, joita suunnittelijoiden tulisi ymmärtää. Suunnitteluohjeiden asiat pohjautuvat vahvasti kirjallisuusselvitykseen, mutta ohjeisiin on myös lisätty omia näkökulmia asioista. Osa ohjeista on luonteeltaan pragmaattisia, eikä niille löydy teoreettista tukea kirjallisuudesta. Suunnitteluperiaatteet ovat luonteeltaan Lehtosen (2018) esittelemien tuotteen rakennusperiaatteiden (engl. Product Structuring Principles) kaltaisia.

Kappaleessa kuusi esitellään työn tulokset. Suunnitteluohjeiden luomista on käsitelty laajemmin kappaleessa viisi ja ohjeiden tärkeimmät näkökulmat ovat tiivistettynä tuloksiin. Kappaleessa vastataan myös tutkimuksen alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Lopuksi kappaleessa suoritetaan pohdintaa liittyen työn tutkimukseen ja tuloksiin. Työn yhteenveto esitetään kappaleessa seitsemän.

3. TEORIA

Työn teoriaosuudessa käsitellään modulaarisen tuotteen suunnitteluohjeiden kannalta tärkeitä aiheita. Kirjallisuusselvityksen lähtökohtana on modulaarisuus ja modulaarinen tuotekehitys, joiden pohjalta tutkitaan modulaarisen tuotteen suunnitteluun liittyviä asioita. Selvityksessä huomioidaan myös valmistusnäkökulma, sillä se on olennainen osa suunnittelua.

3.1 Design for X

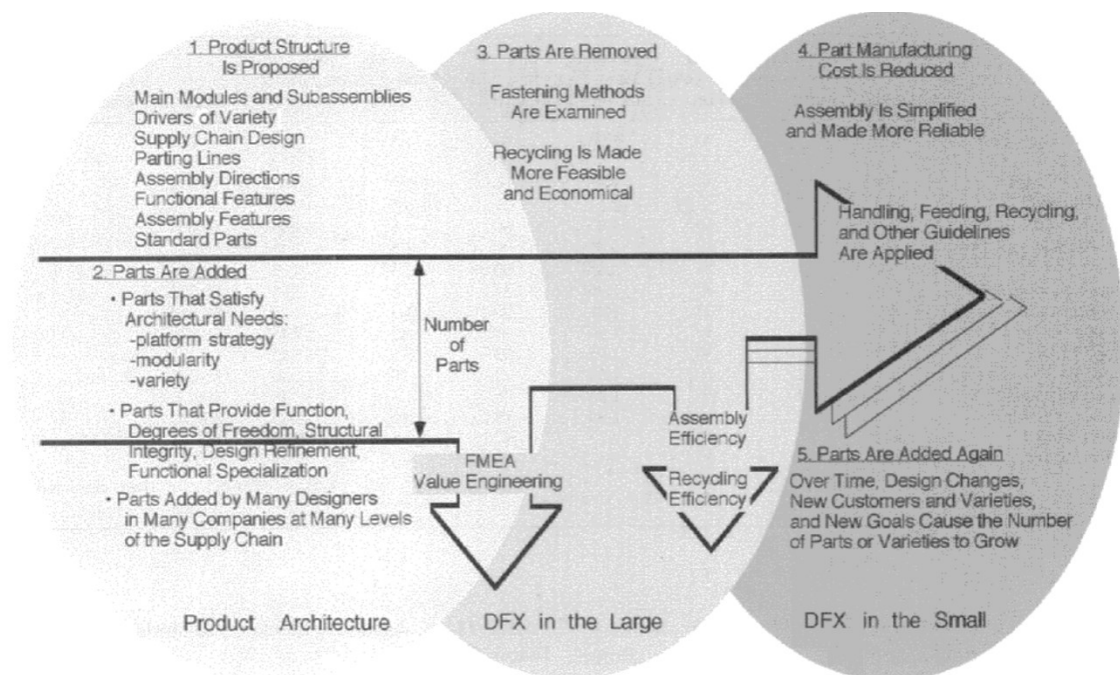
Holt & Barnesin (2010) mukaan maailmanlaajuinen kilpailutilanne ja nopeasti kehittyvät markkinat pakottavat valmistajia etsimään keinoja kehittämään joustavuutta ja nopeuttamaan markkinoille tuloa ilman kompromisseja tuotteen kustannuksissa tai laadussa. Tämä vuoksi suunnittelijat joutuvat miettimään laajemmin valintojensa vaikutuksia tuotekehityksen kaikissa vaiheissa, mikä lisää päätöksenteon monimutkaisuutta. Yksi menetelmä näiden haasteiden kohtaamiseen on Design for X (DFX). DFX:ssä suunnittelu kohdennetaan tiettyyn elinvaiheeseen kuten valmistukseen tai kokoonpanoon, tai hyveeseen, joka tuotteessa tulisi olla. Hyveenä voi olla esimerkiksi laatu tai ympäristövaikutus. Jokainen tekniikka tarjoaa keinoja kehittää tuotetta tietyn elinvaiheen tai ominaisuuden kannalta. Näitä keinoja ei kuitenkaan kannata käyttää erikseen, vaan niitä tulisi yhdistää, ja lisäksi hyödyntää samanaikaista tuote- ja valmistussuunnittelua (engl. concurrent engineering). (Holt & Barnes 2010, s. 123)

Kuo et al. (2001, s. 241) mukaan tuotteen elinkaarikustannusten vähentäminen suunnitteluinnovaatioiden avulla on tulossa tärkeäksi osaksi valmistusteollisuutta. Ympäristöhuolet vaativat huomioimaan tuotteen purettavuuden ja kierrätyksen jo suunnitteluvaiheessa. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi on luotu erilaisia DFX-suunnittelumenetelmiä, kuten esimerkiksi Design for Environment, Design for Recyclability, Design for Life-cycle ja Design for Quality. (Kuo et al. 2001, s. 241)

Whitney (2004, s. 379–382) lähestyy DFX-näkökulmaa hieman laajemmin. Hänen mukaansa tuotteen arkkitehtuurilla ja käytettävillä teknologioilla on suuri vaikutus tuotteen kokoonpantavuuteen. Monet tuotteen suunnittelussa käsiteltävät asiat liittyvät kokoonpanoon tai tuntuvat kokoonpanoon liittyviltä ongelmilta. Tuotteen arkkitehtuuri kuitenkin määrittelee eri elementtien väliset fyysiset yhteydet ja liittää ne tuotteen toimintoihin. Tuotteen arkkitehtuuri onkin suuri merkitys myöhemmissä suunnitteluvaiheissa ja toimiva arkkitehtuuri mahdollistaa hyvien ratkaisujen käytön myös yksityiskohtaisessa suunnittelussa. (Whitney 2004, s. 379–382, Lahtinen 2011, s. 16–17)

Whitney (2004, s. 379) lähestyy DFX-näkökulmaa jakamalla sen kahteen kategoriaan:

- Pieni DFX, joka sisältää yhtä osaa koskevia menetelmiä ja prosessivaiheita, joita suunnittelija voi työstää yksin. Näitä ovat esimerkiksi yksittäisten osien kiinnitysten ja paikoitusten yksinkertaistaminen.
- Suuri DFX, joka sisältää suurempaan kokoonpanoon liittyviä menetelmiä ja prosessivaiheita, jotka vaativat useamman ihmisen vuorovaikutusta. Nämä päätökset vaativat suuremman kokonaisuuden huomioimista.



Kuva 1. Tuotteen arkkitehtuurin, suuren DFX:n ja pienen DFX:n yhteys. (Whitney 2004, s. 416)

Kuvassa 1 on esitettyä tuotteen arkkitehtuurin, suuren DFX:n ja pienen DFX:n yhteys. Pieni DFX on suhteellisen helppo erottaa muusta suunnittelusta ja sen tuotokset harvemmin aiheuttavat ristiriitoja toistensa kanssa. Suuri DFX on kuitenkin hankala erottaa tuotteen arkkitehtuurista ja tuotteen suunnittelusta ylipäättään. Tuotokset ovat usein ristiriidassa toistensa kanssa. Onkin tärkeää ymmärtää, milloin päätöksiä voi tehdä itsenäisesti ja milloin päätöksentekoon tarvitaan muiden sidosryhmien apua. Nykyään tuotteet ovat hyvin monimutkaisia ja niissä käytetään useita erilaisia teknologioita, materiaaleja ja prosesseja, joten on haastavaa tietää, milloin tuotteen suunnittelu on pätevää jokaisesta näkökulmasta. Monet näistä sidosryhmistä haluavat vastakkaisia asioita, mutta kaikki haluavat alhaiset kustannukset, hyvän suorituskyvyn ja korkean laadun. (Whitney 2004, s. 379–417)

Ulrich & Eppingerin (2012, s. 255) mukaan on olemassa geneerisiä periaatteita, jotka pätevät kaikissa DFX:n näkökulmissa:

- Yksityiskohtaisen suunnittelun päätöksillä voi olla suuria vaikutuksia tuotteen laatuun ja kustannuksiin.
- Kehitystiimeillä on useita eri tavoitteita, jotka ovat ristiriidassa keskenään.
- On tärkeää olla tietoinen nykytilasta, jotta voi verrata vaihtoehtoisia ratkaisuja.
- Merkittävät parannukset vaativat usein huomattavia luovia ponnistuksia prosessin alkuvaiheessa.
- Hyvin määritelty toimintatapa helpottaa päätöksentekoprosessia.

Tuotteen kustannukset määritellään pääasiassa suunnitteluvaiheessa, minkä johdosta on kehitetty Design for Manufacturing (DFM) ja Design for Assembly (DFA) ja näiden yhdistelmä Design for Manufacturing and Assembly (DFMA). Nämä ovat hyvin merkittäviä menetelmiä tuotteen ja suunnittelun kustannusten kannalta, joten niitä käsitellään omassa kappaleessa. Muita DFX:n aihepiirejä ei käsitellä erikseen, sillä ne eivät ole tuotteen valmistuksen kannalta niin merkittäviä.

3.2 Design for Manufacturing and Assembly

Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) on yhdistelmä Design for Manufacturing (DFM) ja Design for Assembly (DFA) osakäsitteistä. DFM:ssa keskitytään osien valmistettavuuteen ja sen huomioimiseen suunnittelussa. DFA:ssa keskitytään kokoonpantavuuteen ja sen huomioimiseen suunnittelussa. Näitä tekniikoita käytetään nykyään pääosin yhdessä osaoptimoinnin välttämiseksi. Andreasenin (1988, s. 67) mukaan tuotteen suunnittelussa tehdyt päätökset määrittelevät kokoonpantavuuden, eli kuinka tuotteen kokoonpano suoritetaan. Tuotteen kokoonpantavuutta järkeistäessä tulee asiaa miettiä kokonaisuutena ja optimointi tulee suorittaa koko tuotteen ja tuotantojärjestelmän näkökulmasta. (Lapinleimu 2000, s. 30)

Sage & Rouse (2014, s. 521–522) käyttävät suunnittelutermistöä hieman eri tavoin kuin kirjallisuus yleisesti, joten heidän käyttämänsä termit ovat käännetty yleisesti käytettyyn muotoon. Heidän mukaan tuotteen tuominen markkinoille vaatii monimutkaista vuoro-vaikutusta eri toimintojen välillä, jonka johdosta DFMA on saanut alkunsa. Näitä toimintoja ovat:

- Markkina-analyysi ja tuotteen valinta
- Tuotteen ja komponenttien suunnittelu
- Materiaalin valinta
- Komponenttien ja materiaalin osto ja varastointi
- Tuotantoteknologia ja työkalujen valinta
- Materiaalin käsittely ja prosessin hallinta

- Kokoonpano
- Testaus ja parantelu
- Markkinointi, myynti ja jakelu

Nämä toiminnot ja niiden yhdistäminen lopulta määrittelevät tuotteen laadun, kustannukset ja markkinoille tulon nopeuden. Laajimmillaan DFMA:n avulla pyritään optimoimaan tuotteen kehitys-, tuotanto- ja toimitusprosessi kokonaisuutena ymmärtämällä näiden kaikkien toimintojen vuorovaikutukset. Suppeammin DFMA keskittyy vuorovaikutukseen tuotteen suunnitteluprosessin ja valmistusjärjestelmän välillä. Sen tavoitteena on kehittää tuotteiden valmistus, huolto ja käytöstä poisto mahdollisimman helpoksi, nopeaksi ja edulliseksi ilman, että laatu ja toiminnallisuus kärsivät. (Sage & Rouse 2014, s. 522)

Sage & Rousen (2014, s. 522) empiiristen havaintojen perusteella 70 prosenttia tuotteen kustannuksista määräytyy suunnitteluvaiheessa, mitä voidaan pitää suurimpana motivaattorina DFMA:n hyödyntämiseen. Heidän mukaan suunnittelemalla tuote valmistuskustannuksia minimoiden on usein mahdollista myös parantaa tuotteen laatua ilman toiminnallisuuden tai suorituskyvyn heikentymistä. Heidän mukaan merkittäviä vaikutuksia työkuukustannuksiin ja valmistusprosessin tehokkuuteen ja tuottavuuteen on vaikea saada, ellei valmistettavuutta oteta huomioon riittävän aikaisessa suunnitteluvaiheessa.

Sage & Rouse (2014, s. 527–528) listaavat yleisiä periaatteita DFMA:n soveltamiseen tunnettujen lähteiden pohjalta:

- Minimoi osien kokonaislukumäärä
- Suunnittele modulaarisesti
- Käytä standardikomponentteja
- Suunnittele osat monitoimintoisiksi
- Suunnittele osat monikäyttöisiksi
- Suunnittele osat vaivattomiksi valmistaa
- Vältä erillisiä kiinnittimiä
- Minimoi asennussuunnat
- Maksimoi asennusten joustavuus
- Minimoi käsittely

Sage & Rousen listaa voi pitää soveltuva ohjenuorana myös suurempien laitteiden suunnitteluun, sillä siinä on otettu huomioon myös modulaarisuus ja monikäyttöisyys. Haasteena onkin saada nämä kaikki näkökulmat huomioitua suunnittelussa, sillä ne eivät välttämättä aina tue toisiaan, vaan suunnittelussa joudutaan tekemään kompromisseja eri tavoitteiden välillä.

Boothroyd et al. (2011, s. 10–11) mukaan DFA:n suurimmat hyödyt saavutetaan tuotteen yksinkertaistamisella, eli vähentämällä tuotteeseen kuuluvien osien lukumäärää. Boothroydin DFA-menetelmä tarjoaa tätä varten kolme kriteeriä, jotka oikeuttavat uuden osan suunnitteluun ja osien lukumäärän lisäämiseen:

- Osa liikkuu suhteessa muihin osiin käytettäessä tuotetta.
- Osan pitää olla eri materiaalia tai eristettynä muista asennetuista osista.
- Osa pitää olla erillään muista osista, jotta tuote saadaan kasattua tai purettua.

Whitneyn (2004, s. 400) mukaan kiinnittimet ovat usein kohteena osien lukumäärän pienennyksessä. Yksi motivaatio tähän on vanha uskomus 1970-luvulta, jolloin kierteellisiä kiinnittimiä pidettiin vika-alttiina ja hitaina asentaa. Nykyään kuitenkin kierteellisten kiinnittimien asennus on nopeaa ja luotettavaa. Etenkin raskaammissa ja ammattikäyttöön tarkoitetuissa tuotteissa on tärkeää käyttää lujia liitoksia, jotka pystyvät kantamaan kuormaa. (Whitney 2004, s. 401)

Kustannusten aleneminen osien määrää vähentämällä on hyvin luonnollista, sillä samalla poistuvat näiden osien välilliset kustannukset. Säästöä tapahtuu esimerkiksi suunnittelussa, asennuksessa, logistiikassa ja ostossa. Toisaalta pitää huomioida, miten osien poistaminen vaikuttaa tuotteeseen muuten. Osien poistaminen saattaa nostaa tuotteen valmistuskustannuksia, hankaloittaa purkamista ja vähentää yhteisten osien hyödyntämistä, joten on tärkeää ajatella tuotetta kokonaisuutena.

DFA-näkökulmat ovat kehittyneet 1970-luvusta, mutta niiden peruseriaatteen ovat edelleen samat, jotka Corbett (1987, s. 245, Kuo et al. 2001, s. 243 mukaan) on listannut:

- Minimoi osien ja kiinnitysten lukumäärä, suunnitteluvariantit, kokoonpanoliikkeet ja kokoonpanosuunnat.
- Tuota sopivat ohjaavat viisteet, automaattiset kohdistukset, helppo pääsy paikoituspinnille, symmetriset tai voimakkaasti epäsymmetriset osat ja helppo käsittely sekä kuljetus.
- Vältä visuaalisia esteitä, samanaikaisia sovituksia, takertuvia osia, esisäätöihin vaikuttavia säätöjä ja asennusvirheiden mahdollisuuksia.

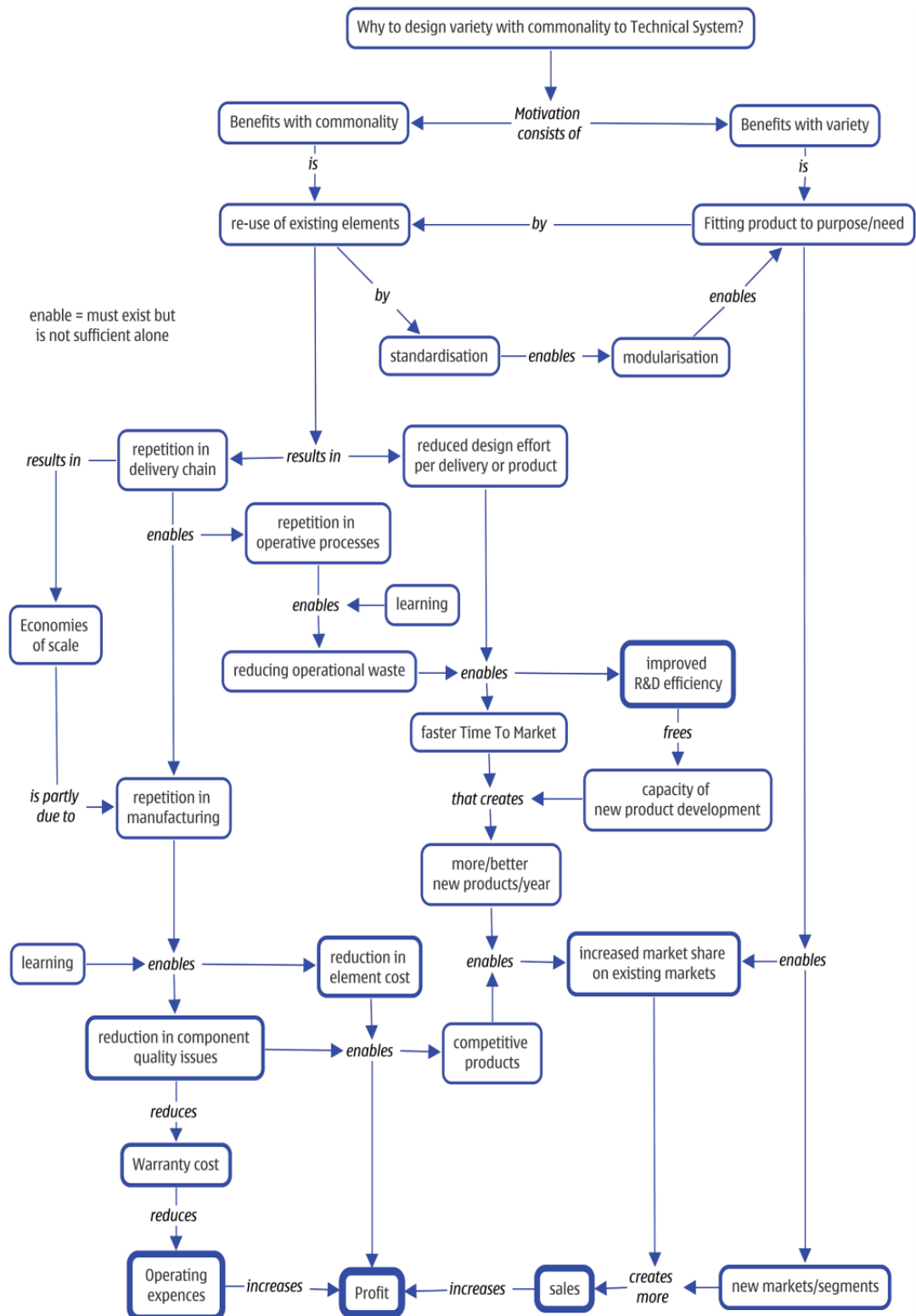
Edwardsin (2002, s. 651–652) mukaan hyödyntämällä DFMA-menetelmiä osana tuotteen suunnitteluprosessia saadaan yksinkertaisempi ja luotettavampi tuote, joka on edullisempi valmistaa ja kokoonpanna. Tällä prosessilla suunnitellut tuotteet kuitenkin sisältävät jonkin verran monimutkaisia osia, jotka tekevät tuotteen huoltamisesta ja päivittämisestä hankalaa ja kallista. Vähentyneet tuotantokustannukset ovat siis siirtyneet käyttökustannuksiin. Tämä ei välttämättä ole ongelma halvoille, lyhyen eliniän massatuotteille kuten kodinkoneille, joita ei juurikaan huolleta. Sen sijaan tämä on tärkeää huomioida

kalliimmissa tuotteissa kuten autoissa tai lentokoneissa, jotka vaativat huoltoa elinkaarensa aikana. (Edwards 2002)

DFMA-menetelmät ovat tärkeitä työkaluja tuotteiden valmistuskustannusten pienentämisessä ja ne sisältävät paljon erilaisia näkökulmia tuotteiden suunnitteluun. Modulaarisuus on yksi DFMA-menetelmistä, kuten Sage & Rouse (2014, s. 527–528) ovat todenneet. Seuraavissa osioissa käsitellään modulaarisuutta, joka on oleellinen osa asiakaskohtaisesti muunneltavaa tuotetta ja tehokasta valmistusta.

3.3 Modulaarisuus

Asiakastarpeet ovat tuotteiden kehityksessä tärkeässä roolissa. Yrityksen tulisi pystyä kehittämään tuotteita, jotka täyttävät asiakasvaatimukset. Asiakastarpeita on kuitenkin monenlaisia ja tuotteiden kehitys ja valmistus jokaista tarvetta varten on hyvin kuormittavaa yritykselle. Tuotteiden varioitavuudella pyritään täyttämään asiakastarpeet vähäisemmillä resursseilla. Varioitavuuden lisäksi tuotteiden tulisi sisältää yhteneväisyyksiä, jotta pystytään hyödyntämään samoja osia ja kokoonpanoja useissa variaatioissa. Juutin mukaan (2008, s. 1-6) standardoimalla olemassa olevat elementit on mahdollista hyödyntää modulaarisuutta, jonka avulla saavutetaan tuotteen varioitavuus ja yhteneväisyys, mistä seuraa huomattavia hyötyjä yritykselle. Varioitavuuden ja yhteneväisyyden vaikutusten syy-seurauskaavio on esitettyä kuvassa 2.



Kuva 2. Yhteneväsyyksien ja varioituvuuden syy-seurauskaavio. (Juuti 2008, s. 1-6)

Kuvan 2 syy-seurauskaaviosta havaitaan, että varioitavalla ja yhteneväisellä tuoterakenteella saavutetaan hyötyjä monella osa-alueella. Modulaarisella tuoterakenteella pyritään saavuttamaan nämä hyödyt.

3.3.1 Modulaarisuus ja moduulit

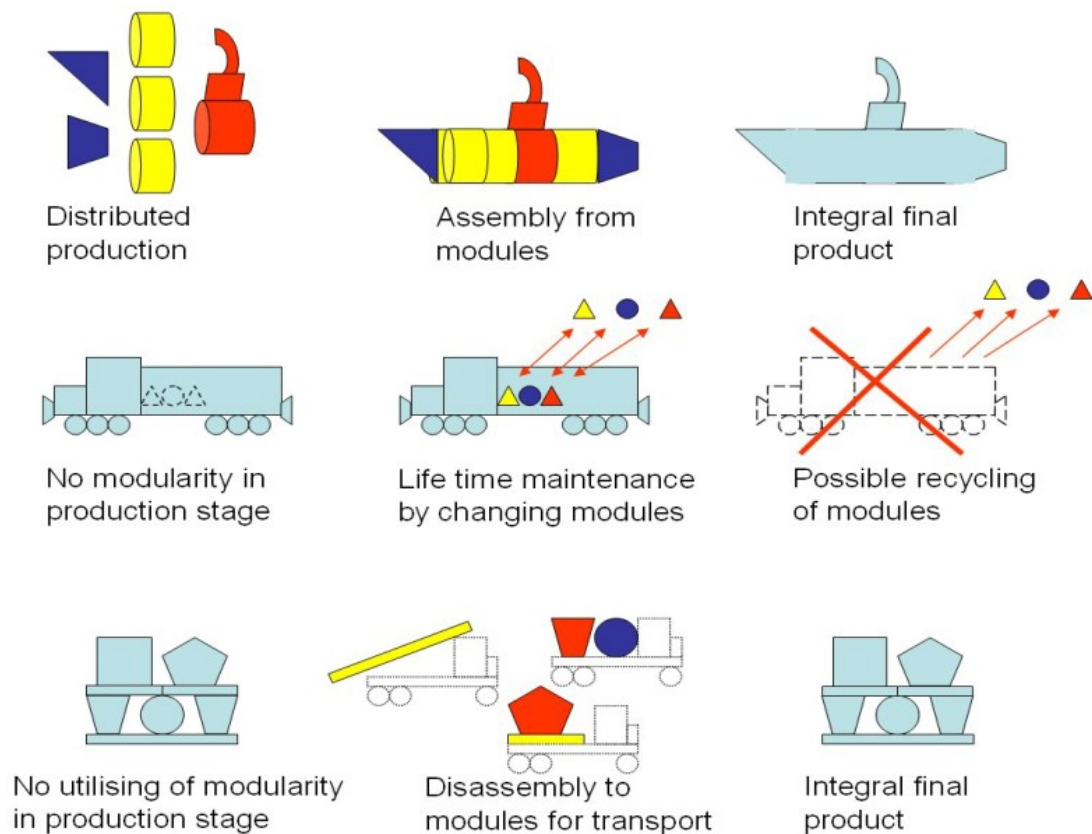
Borowski (1961) esittelee *Das Baukastensystem in der Technik* kirjassa rakennuselementteihin perustuvan tuoteperhejärjestelmän, jota pidetään ensimmäisenä moduulijärjestelmänä. Hän on määritellyt kirjassaan rakennuselementtijärjestelmän (saks. baukastensystem), joka koostuu erilaisista rakennuselementeistä eri kokoluokissa. Rakennuselementti (saks. baukasten) on elementti, joka koostuu pienemmistä rakennuselementeistä (saks. baustein). Nämä pienet rakennuselementit voivat muodostaa oman rakennuselementtijärjestelmänsä, jossa ne ovat rakennuselementtejä. Rakennuselementtijärjestelmän tasot valitaan mahdollisista kokoluokista (saks. rangstufen). Tätä rajoitusta kutsutaan ratkaisutoksiksi (saks. auflösungsgrad). Esimerkiksi juna koostuu veturista ja vaunuista. Vaunu koostuu rungosta ja päällysrakenteesta. Runko koostuu pyöristä, tukirakenteista ja jousituksesta. Idea kokoluokista ja ratkaisutasoista on tärkeä osa rakennuselementtijärjestelmää, sillä se auttaa tunnistamaan pienet ja suuret rakennuselementit. Rakennuselementti on yhtenäinen kokonaisuus järjestelmässä, mikä viittaa siihen, että sillä on rajapinta. Rajapintoja käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.3.2. Rakennuselementtijärjestelmä on koelma vakioituja rakennuselementtejä. Niiden avulla voidaan rakentaa rajoitettu tai rajoittamaton määrä erilaisia tuotteita rakennussuunnitelman mukaan (saks. baumusteplan). Vain elementit, jotka kuuluvat konfiguroitavaan järjestelmään, täyttävät rakennuselementin vaatimukset. (Lehtonen 2007, s. 32–33)

Andreasenin (2011, s. 302) mukaan **moduuli** on tuotteen itsenäinen kokonaisuus, jolla on toiminnon tai elimen näkökulmasta erillisiä toimintoja ja haluttuja ominaisuuksia. Moduulilla on samaan aikaan rajapinnat ja vuorovaikutus muiden itsenäisten kokonaisuuksien kanssa, joten se voidaan nähdä rakenteen rakennuspalikkana. Hänen mukaansa **modulaarisuudella** pyritään luomaan variaatiota asiakkaan näkökulmasta samalla hyödyntäen moduulivarianttien yhteneväisyyttä ja sellaisia rakenteellisia ominaisuuksia, jotka vähentävät yrityksen toimintojen monimutkaisuutta.

Pahl et al. (2007, s. 495) pitää modulaarisuutta jatkumona kokoskaalaukselle, jossa suunnittelua järjeistetään toteuttamalla toiminto samalla periaatteella eri kokoluokissa. Modulaarisella rakenteella pyritään toteuttamaan erilaisia toimintoja useilla varianteilla. Modulaarisella tuotteella tarkoitetaan koneita, kokoonpanoja ja komponentteja, jotka täyttävät erilaiset kokonaistoiminnot yhdistelemällä eri toimintoyksiköitä tai moduuleja. Modulaarinen tuoterakenne koostuu erotettavista tai erottamattomista rakenneyksiköistä eli moduuleista. Nämä erotetaan toimintomoduleihin ja tuotantomoduleihin. Toimintomo-

duulit toteuttavat toiminnon itsenäisesti tai yhdessä muiden moduulien kanssa. Tuotanto-moduulit ovat sen sijaan suunniteltu itsenäisesti vain tuotantonäkökulmasta. (Pahl et al. 2007, s. 495–496)

Lehtosen (2007, s. 88) mukaan voidaan tunnistaa kaksi erilaista modulaarisuuden kategoriaa: muuntelumodulaarisuus ja elinkaarimodulaarisuus. Muuntelumodulaarisuudessa lohko, kuten tuotteen kokoonpano tai osa rakennelmaa, on moduuli, mikäli sillä on määritelty rajapinta ja se on osa modulaarista rakennetta. Modulaarinen rakenne on lohkoista koostuva rakenne, johon kuuluu vaihtokelpoisia lohkoja. Rajapinnat mahdollistavat moduulin riippumattomuuden ja vaihtokelpoisuuden samassa paikassa, sekä niiden hyödyntämisen useissa tuotevariaatioissa. Elinkaarimodulaarisuus liittyy tuotteen elinkaareen, eikä tuotteen varioimiseen. Syyt elinkaarimodulaarisuudelle ovat tuotanto-, huolto- tai logistiikkaperusteisia. Tuotantoperusteisessa modulaarisuudessa osakokoonpanot valmistellaan erikseen ja lopputuote kootaan näistä moduuleista. Lopputuotteessa ei kuitenkaan ole modulaarisuutta. Huoltoperusteisessa modulaarisuudessa tietyt kuluvat osat ovat moduuleja, jolloin ne voidaan vaihtaa helposti ja nopeasti. Logistiikkaperusteisessa modulaarisuudessa rakenne kasataan valmiiksi ja puretaan sopiviin moduuleihin, jotka kuljetetaan varsinaiselle asennuspaikalle, missä asennus tapahtuu nopeasti verrattuna suoraan asennukseen varsinaisella asennuspaikalla. Kuvassa 3 on esitettyinä elinkaarimodulaarisuuden muodot. (Lehtonen 2007, s. 88–90)

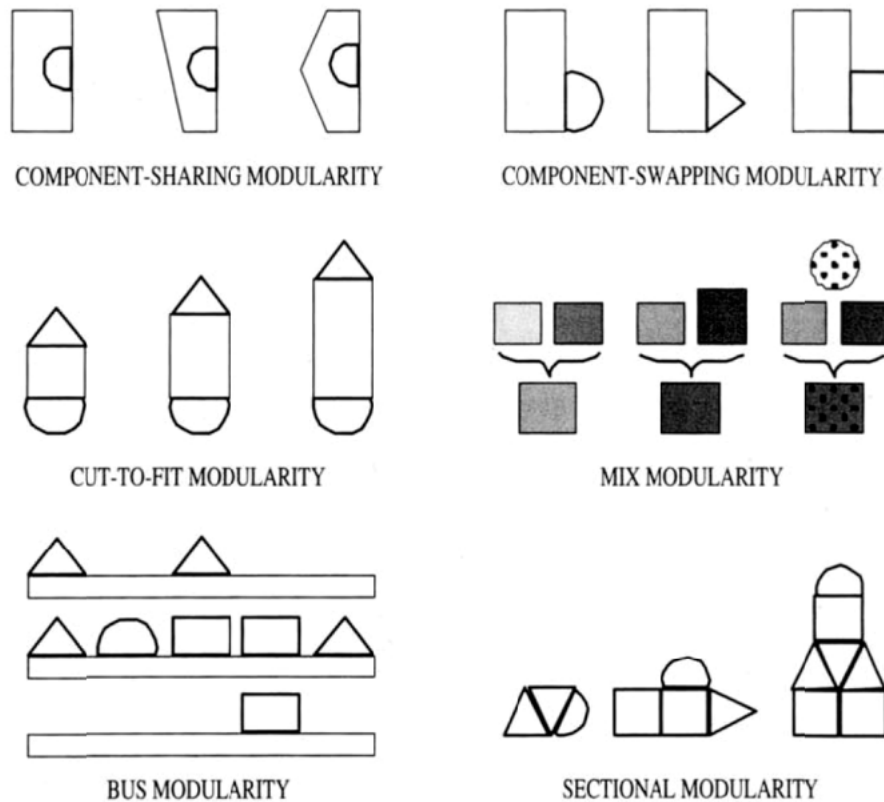


Kuva 3. Elinkaarimodulaarisuuden tyypit ovat tuotanto-, huolto- tai logistiikkaperusteisia. Moduulit esitetään kuvassa kirkkailla väreillä. (Lehtonen 2007, s. 90)

Pine (1993, Pakkanen 2015, s. 54 mukaan) on tunnistanut ainakin kuusi erilaista vaihtokelpoisuuden tyyppiä, joista osaa myös Ulrich & Eppinger (2012, s. 185–186) on käsitellyt. Modulaarisuuden tyypit ovat esitettynä kuvassa 4. Pakkanen (2015, s. 54) kuvaa vaihtokelpoisuuden tyyppejä seuraavasti:

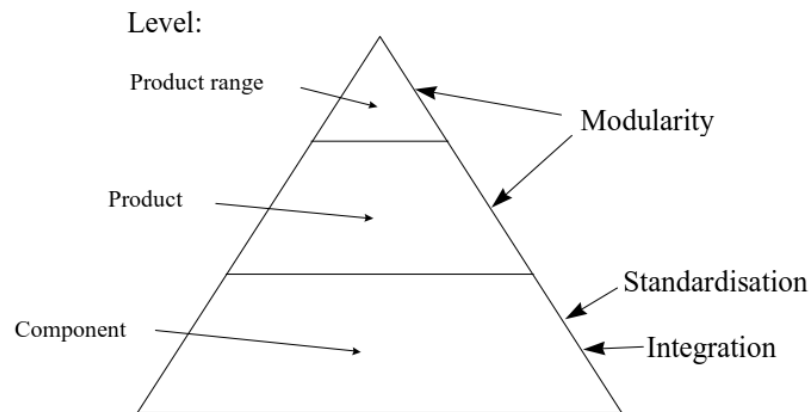
- **Komponentteja jakava modulaarisuus** käyttää samoja komponentteja useissa tuotteissa.
- **Komponentteja vaihtava modulaarisuus** täydentää komponentteja jakavaa modulaarisuutta. Komponentit on paritettu samaan perustuotteeseen ja uusia tuotteita voidaan luoda vaihtamalla komponentteja.
- **Mittaan leikattu modulaarisuus** sisältää yhden tai useamman komponentin, joka on tietyllä välillä pituudeltaan jatkuvasti muunneltava.
- **Sekamodulaarisuus** on komponenttien yhdistämistä toisiinsa siten, että jotain erilaista muodostuu.
- **Väylämodulaarisuus** käyttää vakiorakennetta, johon voidaan liittää erilaisia komponentteja.

- **Koottava modulaarisuus** mahdollistaa konfiguraation eri komponenttityypeistä, joilla on vakiorajapinnat. Tämä vaihtokelpoisuus mahdollistaa suurimman variomisasteen ja muunneltavuuden sekä uudelleenkonfiguroitavuuden, mutta on samalla vaikea saavuttaa.



Kuva 4. Modulaarisuuden kuusi eri tyyppiä. (Pine 1993)

Erixon (1994, Erixon 1998, s. 50 mukaan) on havainnut, että tuotteen arkkitehtuuria/rakennetta voidaan käsitellä kolmella tasolla, jotka ovat tuotevalikoima, tuoterakenne ja komponentti tai osataso. Tuotteen eri tasot ovat esitettyinä kuvassa 5. Tutkimusten perusteella DFX-panostuksilla tuotevalikoimaan saavutetaan suurin vaikutus tuotannon ja kokoonpanon kannalta. Andreasen & Olesen (1990, Erixon 1998, s. 50 mukaan) väittävät, että vaikutusten suhde tuotevalikoimaan, tuoterakenteeseen ja komponenttitasoon on 100:10:1. Tämän perusteella suurimmat hyödyt on mahdollista saavuttaa oikeilla suunnittelupäätöksillä ylemmillä tasoilla. (Erixon 1998, s. 50)



Kuva 5. Tuotteen eri tasot ja keinot vaikuttaa niihin. (Erixon 1998, s. 50)

Hansen & Sunin (2010) tekemässä empiirisessä tutkimuksessa modulaarisuuden hyödyistä käsiteltiin 40 teollisuuden tapausta 22:ssa yrityksessä. Useimmissa tapauksissa yrityksillä oli projektin suunnitteluvaiheessa vain heikko arvio modulaarisuuden tuoman hyödyn tyypistä ja suuruudesta. Tapausten perusteella tuotteen modulaarisuuden havaittiin mahdollistavan seuraavia positiivisia vaikutuksia:

- Tuotannon mittakaavaetu vähentää tuotteen elinkaarikustannuksia.
- Toimitusketjun viivästäminen lyhentää toimitusaikaa.
- Tehtävien jaon mahdollistaminen nopeuttaa tuotekehitysprosessia.
- Tuotteiden rakenteen tuntemus tuotekehityksen projektinhallinnassa nopeuttaa tuotekehitysprosessia.
- Komponenttien ja rakenteiden uudelleenkäyttö nopeuttaa uusien tuotevariaatioiden luomista.
- Konfiguroitavuuden joustavuus parantaa lopputuotteen variointia.
- Helpottunut kommunikointi tuoterakenteesta parantaa organisaation joustavuutta.
- Luonnollinen tiedon kerääntyminen parantaa organisaation oppimista.

Hansen & Sunin (2010) mukaan näiden hyötyjen rahallista arvoa on hankalaa mitata, sillä ne sijoittuvat pitkälle aikavälille tai ovat muuten vaikeasti muutettavissa rahamääräisiksi.

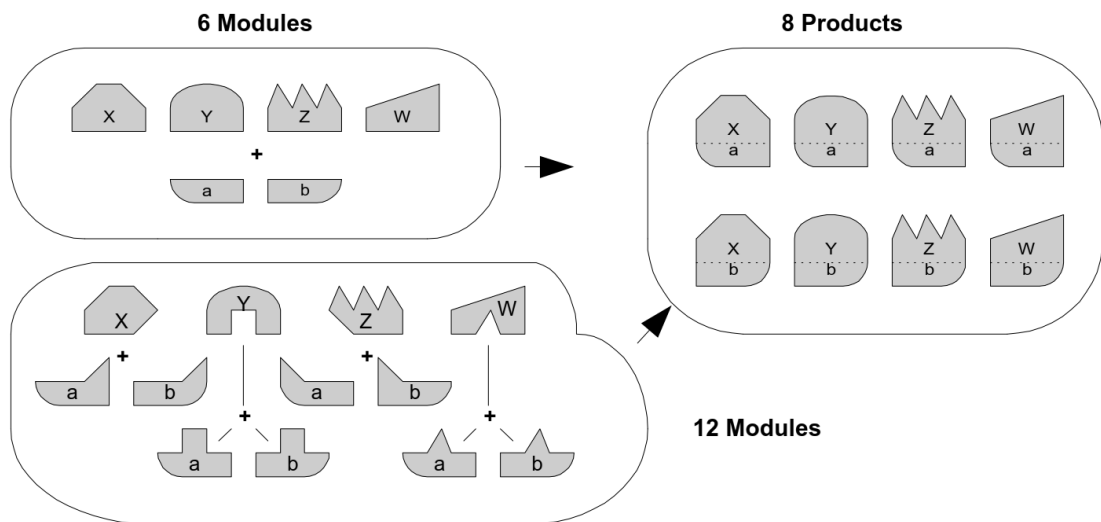
Avak (2006, s. 787–788) on luonut moduulien dokumentointia varten moduulilomakkeen (engl. Module Sheet). Moduulilomake sisältää moduulin luonnehdinnan, rajapinnan kuvauksen ja moduulikonfiguraation. Lomakkeen tarkoitus on antaa käyttäjälle nopea kuvaus moduulista ja siihen liittyvistä asioista.

3.3.2 Rajapinnat

Edellytyksenä moduulien vaihtokelpoisuudelle ja tuotemuunnosten luomiselle moduuleja yhdistelemällä ovat hyvin määritellyt toimintojen allokoinnit sekä rajapintojen ja vuorovaikutusten standardoinnit modulaarisessa järjestelmässä. Moduulit voivat olla vaihtokelpoisia vain, jos niillä on yhteensopivat rajapinnat ja vuorovaikutukset. (Miller & Elgård 1998, s. 10)

Miller & Elgård (1998, s. 14) sanovat rajapintojen olevan moduulien välisiä rajoja. Heidän mukaan olennaisia rajapintatyppejä ovat toiminnalliset, mekaaniset ja sähköiset rajapinnat. Vuorovaikutus moduulien välillä pitää olla myös yhteensopivaa ja erilaisia tyyppisiä vuorovaikutukselle ovat energia, tieto, materiaali ja tila.

Luotujen moduulien tulisi olla mahdollisimman monikäyttöisiä, jotta niitä voidaan hyödyntää koko tuoteperheessä. Samojen toimintojen suorittaminen tulisi onnistua tietyllä moduulivariantilla koko tuoteperheen sisällä. Osa moduloinnin hyödyistä menetetään, mikäli joudutaan käyttämään eri moduulivariantteja saman toiminnon suorittamiseen. Monikäyttöisten rajapintojen hyödyntäminen mahdollistaa samojen moduulien käytön monissa eri konfiguraatioissa. Kuva 6 havainnollistaa monikäyttöisten rajapintojen edun. (Miller & Elgård 1998, s. 14)



Kuva 6. Rajapintojen ja vuorovaikutuksen suunnittelulla ja toimintojen jakamisella on suuri vaikutus moduulien yleiseen käytettävyyteen. (Miller, Elgård 1998, s. 14)

Favi & Germanin (2012, s. 158–159) mukaan rajapinnoilla on kriittinen rooli tuotteen suunnittelussa ja valmistusprosesseissa. Rajapinnat määrittävät liitosmenetelmän ja vuorovaikutuksen loppukokoonpanossa käytettäville tuotteille. Asennettavuuden näkökul-

masta näiden ominaisuuksien pitää olla taattuja asennusprosessia varten. He ovat tunnistaneet viisi erityyppistä rajapintaa ja antaneet niille tärkeysjärjestyksen asteikoilla 1–4, jossa 4 on tärkein ja 1 vähiten tärkeä. Rajapintatyypit ovat:

- Mekaaninen voimansiirto ja liike (3)
- Mekaaninen kontakti (2)
- Sähköinen (1)
- Optinen (4)
- Magneettinen (4)

Favi & Germani (2012, s. 159) ovat määritelleet tärkeysjärjestyksen pohtimalla rajapinnan toimintoja, jotka tulee taata tuotteen asennuksessa. Magneettinen ja optinen rajapinta ovat tärkeimpiä, sillä optinen valon välitys vaatii suunnatun asennuksen ja magneettinen voima saadaan siirrettyä vain lähellä oleviin moduuleihin. Mekaanisten rajapintojen tärkeys on keskitasolla, sillä mekaanista voimaan voidaan siirtää erilaisilla liitostavoilla myös kauemmaksi. Sähköisillä rajapinnoilla on alhaisin tärkeys, sillä sähköön tai signaalin siirtäminen on helppoa johdolla tai signaalin lähettimillä/vastaanottimilla, joten moduulien ei tarvitse olla vierekkäin näiden elementtien yhdistämiseksi. Hydraulinen rajapinta puuttuu Favi & Germanin esityksestä, mutta se on verrattavissa sähköiseen rajapintaan pois lukien lähettimien ja vastaanottimien hyödyntäminen.

Favi & Germanin (2012, s. 163) mukaan monimutkaisten teollisuustuotteiden suunnittelussa tulee huomioida asennusongelmat, jotta voidaan minimoida asennusaika, asennusoperaatiot ja lopulta asennuskustannukset. Lisäksi lyhyempi markkinoille tuloaika parantaa kilpailukykyä tuoteinnovaatioiden ja liikevaihdon muodossa. Suunnittelijalla tulee olla hyvä ymmärrys tuotteen rakenteesta, arkkitehtuurista ja rajapinnoista, jotta voidaan saavuttaa optimaalinen asennusjärjestys, joka mahdollistaa kokonaisasennusajan minimoimisen (Favi & Germani 2012, s. 160).

Parslov & Mortensen (2015, s. 183) pitävät suunnitteluvaiheessa määrittelemättömiä tai huonosti määriteltyjä rajapintoja yhtenä pääsyynä tuotteiden huonoon laatuun, mikä johtaa tuotteiden ei tavoiteltuun käyttäytymiseen. Läpimenoajan pienentämiseksi ja laadun parantamiseksi yritykset voivat pyrkiä käyttämään modulaarista tuotearkkitehtuuria, joka mahdollistaa eri moduulien samanaikaisen kehityksen. Onnistunut moduulien yhdistäminen suunnittelun loppuvaiheessa vaatii ymmärryksen siitä, miten moduulit jakaantuvat aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Tämän vuoksi tarvitaan perusteellinen ymmärrys siitä, mikä rajapinta on.

Parslov & Mortensenin (2015, s. 184) mukaan selvä ymmärrys rajapinnoista ja yhteinen kieli eri suunnitteluosastojen välillä ovat ratkaisuja onnistuneeseen suunnitteluun, missä

tuotteen toiminnot muutetaan fyysiseksi arkkitehtuuriksi. Täsmällinen rajapintojen määrittely tukee moduulien välistä jakoa niin toiminnallisella kuin rakenteellisella tasolla ja tarjoaa yhteisen kielen eri teknologia-alojen välille.

Monimutkaisten moniteknologisten järjestelmien yhdistelyssä ja moduloinnissa on tärkeää hallita moduulien väliset rajapinnat, sillä ne vaikuttavat ratkaisevasti moduulin toimintaan. Moduulin voidaan katsoa koostuvan osista, jotka muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden sisäisistä toiminnoista ja rakenteellisista rajapinnoista. Moduulin ulkoinen rajapinta koostuu useista rakenteellisista liitoksista ja erilaisista toiminnallisista vuorovaikutuksista, jotka liittyvät voimakkaasti järjestelmän toimintaan ja ovat siten strategisesti tärkeitä suojella ja kontrolloida. (Parslov & Mortensen 2015, s. 194)

Modulaarisen tuotteen rajapinnat voidaan Parslov & Mortensenin (2015, s. 194–196) mukaan jakaa kahteen tyyppiin. A-tyypin rajapinnat ovat moduulien välillä ja niiden muuntelun todennäköisyys on korkea esimerkiksi tulevaisuuden tarpeista, huollettavuudesta tai ylläpidettävyydestä johtuen. A-tyypin rajapinnat ovat strategisesti tärkeitä ja niiden toiminnalliset ja rakenteelliset ominaisuudet tarvitsevat tarkan määrittelyn. B-tyypin rajapinnat ovat komponenttien välisiä fyysisiä kontaktipisteitä, jotka välittävät esimerkiksi työtä, virtaa ja lämpöä. B-tyypin rajapinnat ovat tärkeitä tuotteen toiminnan kannalta, mutta ne voidaan suunnitella pienen ryhmän toimesta, eikä niillä ole samanlaista strategista tärkeyttä kuin A-tyypin rajapinnoilla.

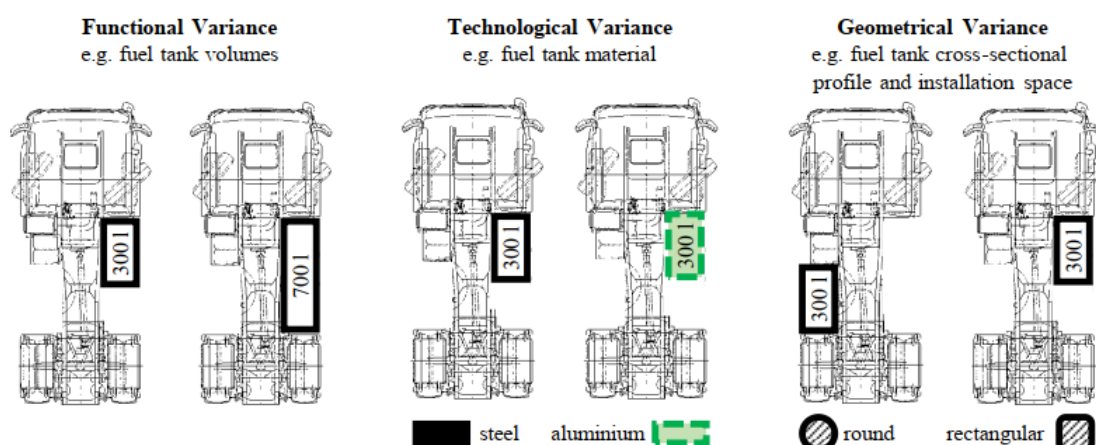
Moduulien väliset ja eri suunnittelualoihin liittyvät rajapinnat vaativat erityistä huomiota. Eri aloihin liittyvien rajapintojen suunnittelussa on riskinä väärinymmärrykset kommunikaatiossa, ellei asianomaisilla ole yhteisymmärrystä rajapinnan luonteesta. Yleensä eri alojen suunnittelijoilla on myös omat näkemyksensä rajapinnan olemuksesta, joten on tärkeää kommunikoida ja tehdä päätökset yhteistyössä parhaan kokonaisuuden saavuttamiseksi. (Parslov & Mortensen 2015, s. 196–197)

Blackenfeltin (2001, s. 37) mukaan rajapintojen tulisi olla paikallisia, jolloin moduulit ovat yhtenäisempiä ja moduulien välinen yhteys on heikompi. Moduulien väliset rajapinnat tulisi suunnitella siten, että moduulien välinen yhteys saadaan vahvaksi. Tämä voidaan toteuttaa tekemällä rajapinnasta yksinkertainen ja jyrkän sekä ylimitoittaa se.

3.3.3 Tilavaraus

Modulaarisen tuotteen suunnittelussa tulee olla selvillä eri moduulien tarvitsemasta tilasta tuotteessa. Modulaarisuudella on tarkoitus mahdollistaa tuotteen konfiguroitavuus vaihtokelpoisilla moduuleilla, jotka tarvitsevat oman tilansa. Moduulien tarvitseman tilan määrittely on hyvin oleellista onnistuneen lopputuloksen kannalta, jotta tilauskohtaista suunnittelua ei tarvita. Vakioitujen moduulien vaatima tila on usein kohtalaisen helppoa määrittellä, mutta konfiguroitavat elementit saattavat aiheuttaa ongelmia.

Kreimeyer et al. (2014, s. 6–7) esittelemillä arkkitehtuurisilla standardeilla pyritään helpottamaan tilavarauksen hallintaa. Ulkoinen variaatio kuten erilaiset polttoainetankit ovat asiakkaalle näkyvää variaatiota ja sillä pyritään lisäämään tuotteen käyttöarvoa asiakkaalle. Sisäinen variaatio kuten polttoaineputken reititys ei taas näy asiakkaalle. Molemmat variaatiot ovat sidoksissa toisiinsa ja suurella ulkoisella variaatiolla on selvä vaikutus myös sisäisen variaation kasvuun. Sisäisen variaation suuruus johtuu usein organisaation puutteista. Arkkitehtuuriset standardit ovat avain tähän ongelmaan ja ne voidaan jakaa kuvassa 7 esitettyihin kolmeen osaan. (Kreimeyer et al. 2014, s. 7)



Kuva 7. Variaation tyypit arkkitehtuurisen standardin mukaan. (Kreimeyer et al. 2014, s. 7)

Toiminnallisella vakioinnilla pyritään vähentämään saatavilla olevia suorituskyykyluokkia eli komponenttivarientteja, tässä tapauksessa polttoainetankin kokoja. Ulkoinen variaatio pienenee suoraan, mutta kustannuksia voidaan alentaa poistamalla vähemmän kysyttyjä variantteja. Teknologinen vakiointi kuvaa tässä tapauksessa polttoainetankin materiaalin ja valmistusmenetelmien vakiointia. Geometrinen vakiointi voidaan jakaa osakohtaiseen ja positiokohtaiseen vakiointiin. Tässä tapauksessa osakohtaisella tarkoitetaan polttoainetankin poikkileikkausta ja positiolla polttoainetankin sijoitusta tuotteessa. Neljäs vakiointityyppi on rajapintojen vakiointi, joka on näiden kolmen yhdistelmä. Rajapintojen vakioinnilla pyritään varmistamaan komponenttien yhteensopivuus ja monikäyttöisyys. (Kreimeyer et al. 2014, s. 7)

Geometrinen ja teknologinen vakiointi voidaan suorittaa aikaisessa tuotekehitysvaiheessa vähäisillä yksityiskohdilla. Avoimempi ja paremmin järjestelty layout voidaan saavuttaa varmistamalla vakioidut asennustilat ja muuttumattomat rajapinnat pääkomponenteille. Tämän jälkeen eri osastot voivat jatkaa omien raamiensa sisällä moduuli- ja komponenttikohtaista suunnittelua. Tulevaisuuden tarpeet tulisi huomioida ja suunnitella riittävän hyvin, jotta tulevia muutoksia saataisiin vähennettyä. Uusien ja vanhojen ratkaisujen väliset tekniset riippuvuudet tulee selvittää, jotta voidaan varautua tulevaisuuden tarpeisiin.

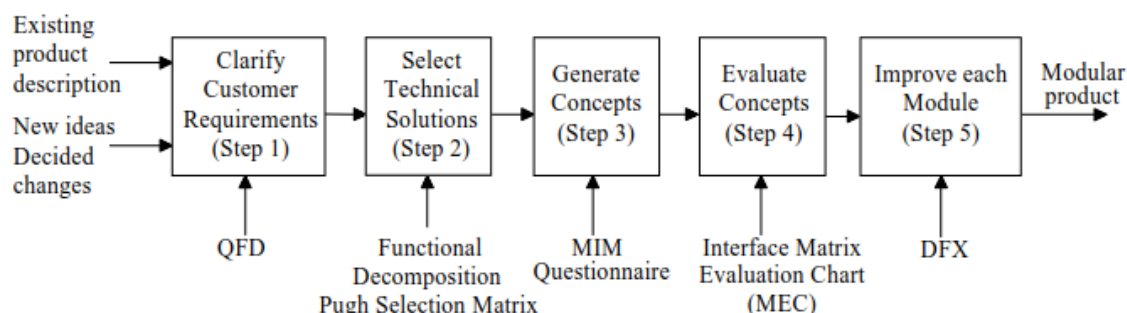
täydennyksillä rajapinnoissa. Vakioinnilla pyritään vähentämään variaatiota, mutta niidenkin hyödyntämisessä on tietyt rajat, jotta tuotteen ominaisuudet pysyvät riittävällä tasolla. (Kreimeyer et al. 2014)

3.3.4 Modulaarinen tuotekehitys

Brownfield-prosessi on modulaarinen tuotekehitysmenetelmä, jota on hyödynnetty Metson projektissa. Se esitellään kappaleessa 3.4. Modulaarisia tuotekehitysmenetelmiä on luotu useita erilaisia, mutta niiden vertailua ei suoriteta tässä työssä. Erixonin (1998) luoma Modular Function Deployment -menetelmä on eräs toinen tunnettu menetelmä ja se esitellään esimerkkinä vaihtoehtoisesta menetelmästä.

Erixon (1998) on kehittänyt modulaaristen tuotteiden kehitystä varten Modular Function Deployment (MFD) -menetelmän. MFD sisältää viisi vaihetta, jotka ovat:

1. Asiakasvaatimusten selvitys
2. Teknisten ratkaisujen valinta
3. Konseptien luominen
4. Konseptien arviointi
5. Moduulien kehitys



Kuva 8. Modular Function Deployment -menetelmän viisi vaihetta. (Erixon 1998, s. 65)

MFD-menetelmän ensimmäisessä vaiheessa selvitetään asiakasvaatimukset, joiden perusteella tuote määritellään. Tätä varten Erixon (1998, s. 66) suosittelee Quality Function Development (QFD) -matriisin käyttöä. Hän suosittelee asettamaan modulaarisuuden ensimmäiseksi suunnitteluvaatimukseksi, minkä tavoitteena on sopivan ajattelutavan luominen tuotekehitykseen. QFD-matriisi on esitettyä kuvassa 9.

<div> <div>“How”</div> <div>“What”</div> </div>	Modularity	Other Design Requirements						
	Customer “wants”							
					○			
	●							
			◐			●		
	●			◐				
	●							
			○		●		◐	
	◐							
Sum:	30	-	4	3	10	9	3	

● = Strong relation (9)

◐ = Medium relation (3)

○ = Weak relation (1)

Kuva 9. QFD-matriisia käytetään asiakastarpeiden ja suunnitteluvaatimusten suhteen määrittämisessä. (Erixon 1998, s. 67)

MFD-menetelmän toisessa vaiheessa valitaan tekniset ratkaisut. Erixon suosittelee teknisten ratkaisujen valintaa toiminnallisesta näkökulmasta, jossa tuote jaetaan toimintoihin ja osatoimintoihin. Nämä toiminnot toteutetaan teknisillä ratkaisulla, joita voivat olla esimerkiksi toiminnon suorittajat, toimilaitteet, välineet tai suunnitteluparametrit. Mahdollisimman vähäinen vuorovaikutus moduulien välillä on edellytys vakaalle modulaariselle ratkaisulle. Tämä maksimoi moduulien itsenäisyyden ja mahdollistaa niiden käsittelyn erillään muista. Toimintojen ja teknisten ratkaisujen suhteiden kuvaamista varten on esiteltynä erilaisia vaihtoehtoja, kuten suunnittelumatriisi sekä toiminto- ja keinopuu. MFD-menetelmä ei suosittele eri toimintojen yhdistämistä vielä tässä vaiheessa, sillä asiaa käsitellään myöhemmin laajemmalla näkökulmalla. (Erixon 1998, s. 69–71)

MFD-menetelmän kolmannessa vaiheessa luodaan konseptit. Tuotteen osatoimintoja arvioidaan modulaarisuuden ajureiden perusteella. Tässä arvioinnissa hyödynnetään kuvassa 10 esitettyä Modular Indication Matrix (MIM) -menetelmää, jossa jokaista osatoimintoa pohditaan modulaarisuuden ajureiden kannalta. Tällä osatoimintojen yksilöllisellä arvioinnilla tarkastellaan, onko niillä taipumusta modulaarisuuteen. Erixon on luonut lisäksi kyselylomakkeen, jossa käydään läpi jokainen modulaarisuuden ajuri ja selvitetään niiden voimakkuus. (Erixon 1998, s. 72–80)

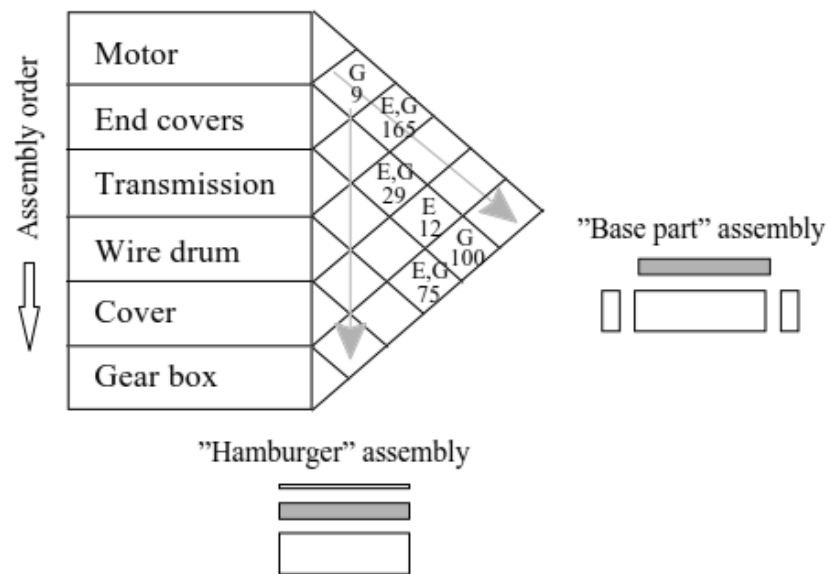
Sub-function (techn. solution)		Sub-function 1	Sub-function 2	Sub-function 3	Sub-function 4	Sub-function 5
Module driver						
Company specific						
Development and Design	Carry-over					●
	Technology push			●		
	Product plan					
Variance	Technical spec.				●	
	Styling					
Prod.	Common unit	●			⊗	
	Process/Org.			●	●	
Quality	Separate test	○		⊗		
Purchase	Black-box eng.	⊗				
After sales	Service/maint.	⊗		●		
	Upgrading					
	Recycling				○	

● = Strong driver (9)
 ⊗ = Medium driver (3)
 ○ = Some driver (1)

Kuva 10. *Module Indication Matrix -menetelmää hyödynnetään moduulien muodostamisessa. (Erixon 1998, s. 78)*

Yksittäisen osatoiminnon useat korkeasti painotetut modulaarisuuden ajurit ilmaisevat sen muodostavan todennäköisesti moduulin tai sen perustan. Harvinaislaatuisten modulaarisuuden ajureiden painotuksen kohdalla osatoiminto kannattaa pitää irrallisena niin kauan kuin mahdollista. Harva tai kevyt painotus modulaarisuuden ajureissa tarkoittaa usein sitä, että osatoiminto on helppo yhdistää johonkin toiseen osatoimintoon. Mikäli eri osatoiminnoilla on samoja modulaarisuuden ajureita, niiden yhdistämistä tai jaottelua tulee harkita. Tässä vaiheessa muodostetaan MIM:n avulla muutamia moduulikonsepteja, joista valitaan yksi tai useampia jatkokäsittelyyn. (Erixon 1998, s. 80–82)

Neljännessä vaiheessa keskitytään luotujen konseptien arviointiin ja valintaan. Erixonin (1998, s. 83–84) mukaan rajapinnoilla on suuri vaikutus lopputuotteeseen ja tuotevalikoiden muunneltavuuteen. Hän on tunnistanut kolme erityyppistä rajapintaa: kiinteän, liikuvan ja aineiden siirron (engl. media transmitting). Hän on myös esitellyt asennuksen näkökulmasta kaksi ideaalista moduuliasetelmaa, perusosa- ja hampurilaisasennuksen, jotka ovat esiteltynä nuolilla kuvassa 11.



Kuva 11. Rajapintojen tunnistusmatriisi. (Erixon 1998, s. 84)

Taloudellisuus on Erixonin (1998, s. 85–87) mukaan yksi tärkeä osa neljättä vaihetta. Hän on tunnistanut kymmenen eri tuotteen ominaisuuksista johtuvaa vaikutusta, jotka liittyvät tuotteen kehitykseen, asennukseen ja myyntiin/jälkimarkkinointiin. Näitä taulukossa 1 esiteltyä kymmentä kohtaa voidaan käyttää tuotteet modulaarisen suunnittelun arviointiin.

Taulukko 1. Tuotteen ominaisuuksien vaikutukset eri elinkaaren vaiheissa. (Erixon 1998, s. 87)

Effects (life phases)	Product characteristics	Metrics/rules
Development		
1. Lead time in development	Interface complexity	Metric
2. Development costs	Share of carry over	Rule
3. Development capacity	Share of purchased modules	Rule
Assembly		
4. Product costs	Assortment complexity	Metric
5. System costs	Share of purchased modules	Rule
6. Lead time	Number of modules in product	Metric
7. Quality	Share of separately tested modules	Metric
Sales/After sales		
8. Variant flexibility	Multiple-use	Metric
9. Service/Upgrading	Functional purity in modules	Rule
10. Recyclability	Material purity in modules	Rule

Erixonin (1998, s. 87–88) mukaan tuotekehityksen läpimenoaika lyhenee, mikäli töitä voidaan tehdä samanaikaisesti. Kiinteät ja helposti määriteltävät rajapinnat mahdollistavat moduulien kehittämisen itsenäisesti. Mitä vähemmän tietoa eri suunnitteluryhmien välillä tarvitaan, sitä nopeampaa suunnittelu on. Tuotteen kehityskustannuksia saadaan Erixonin (1998, s. 89–90) mukaan pienennettyä uudelleenkäyttämällä vanhan tuoterakenteen osia mahdollisuuksien mukaan. Hänen mukaansa myös tuotekehityskapasiteettia saadaan lisättyä hyödyntämällä ostettavia moduuleja.

Erixon (1998, s. 91–95) kertoo tuotteen kustannuksien riippuvan voimakkaasti moduulien määrästä ja tuotevalikoiman monimutkaisuudesta, joten asiakastarpeet tulisi pyrkiä täyttämään vähimmäismäärällä moduuleja ja rajapintoja. Hänen mukaansa organisaation kustannuksia voidaan vähentää lisäämällä ostettujen moduuleiden hyödyntämistä. Erixonin (1998, s. 95–98) mukaan kokoonpanolla ja sen sujuvuudella on suuri merkitys läpimenoaikaan. Läpimenoaikaan liittyy vahvasti moduulien lukumäärä. Hän on kehittänyt menetelmän moduulien ideaalisen lukumäärän tunnistamiseen läpimenoajan kannalta. Erixonin (1998, s. 98) mukaan paras laatu saavutetaan testaamalla kaikki moduulit erikseen. Erillinen testaus nopeuttaa palautteen saamista ongelmista, minkä lisäksi vikojen paikointus on helpompaa.

Erixon (1998, s. 101–102) on määritellyt moduulitarjoaman joustavuuden laskemalla, kuinka monta eri tuotevariaatioita on suhteessa moduulien lukumäärään. Mitä suurempi tämä suhdeluku on, sitä enemmän yhtäläisyyksiä tuotevariaatioilla on. Yhtäläisyyksien avulla saavutetaan useita etuja, joita ovat asetusten ja työkalujen vähentyminen tuotannossa sekä yksinkertaisempi tilausten käsittely. Erixonin (1998, s. 102–103) mukaan moduulien vaihtokelpoisuuden kannalta toiminnallista yhteyttä ei moduulien välillä saisi olla. Lisäksi hänen mukaansa moduulien kierrätettävyyden kannalta tulisi käyttää mahdollisimman vähän erilaisia materiaaleja yksittäisissä moduuleissa.

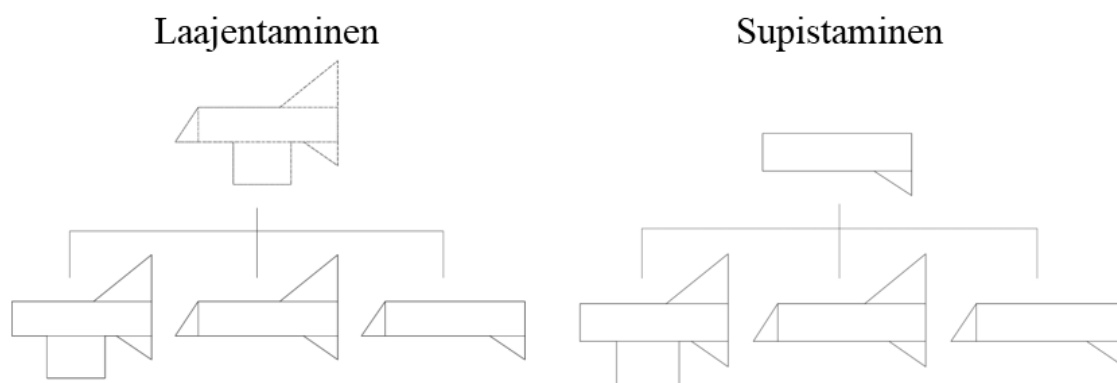
MFD:n viimeisessä vaiheessa kehitetään moduuleja ja suoritetaan niiden dokumentaatio. Erixon (1998, s. 103–106) suosittelee MIM:n hyödyntämistä yksittäisten moduulien tarkastelussa, minkä avulla pyritään huomioimaan oikeat asiat moduulikohtaisesti. Erixon käsittelee myös yleisesti osien lukumäärän vähennystä DFA näkökulmasta. Lopuksi modulaatio dokumentoidaan ja siinä voidaan hyödyntää moduulin määrittelylomaketta. Siihen kerätään tiedot moduulin tarkoituksesta, vastuuhenkilöstä, teknisistä ratkaisuista (MIM), rajapinnoista (rajapintamatriisi) ja muista huomioista (QFD).

3.3.5 Laajentamis- ja supistamisstrategiat

Miller & Elgård (1998, s. 7–13) ovat luoneet tutkimuksessaan modulaarisuutta muistuttavan menetelmän variaation hallintaan, joka koostuu laajentamis- ja supistamisstrategiasta. Strategiat ovat esitettynä kuvassa 12. Laajentamisstrategialla tarkoitetaan elementin

eri variaatioiden yhdistämistä yhdeksi vakioelementiksi, joka sisältää kaikkien variaatioiden ominaisuudet. Laajentamisstrategia ei itsessään tuo lisää variaatiota tuotteeseen, vaan sillä parannetaan yleistä käytettävyyttä yhdistämällä eri ratkaisuja yhdeksi vakioratkaisuksi. Tämä vähentää turhaa ulkoista variaatiota. Tuotteen muuttuvat kustannukset saattavat nousta, mutta tämä vakioiminen voi vähentää kiinteitä kustannuksia.

Supistamisstrategiassa tunnistetaan yhteinen toiminnallisuus eri asiakasvariaatioista, joka voidaan toteuttaa yleisenä elementtinä. Elementti on hyvin samankaltainen kuin vaihtomodulaarisuuden perusmoduuli, mutta siihen ei kohdistu niin suuria vaatimuksia rajapintojen suhteen. Tähän elementtiin voidaan yhdistää asiakastarpeen mukaan lisää ominaisuuksia. Supistamisstrategiassa tuotteeseen ei lisätä mitään ylimääräistä, mitä asiakas ei tarvitse. (Miller & Elgård 1998, s. 13)



Kuva 12. Laajentamis- ja supistamisstrategiat. (Miller & Elgård 1998)

Käytettävän strategian valinta riippuu voimakkaasti kohteesta ja tavoitteista. Strategian aiheuttamat kustannukset vaihtelevat tuotteesta riippuen, joten strategian valinta on suoritettava tapauskohtaisesti. Laajentamisstrategia vähentää sisäistä variaatiota tuotteessa, mutta mahdollistaa useamman asiakastarpeen täyttymisen. Menetelmää hyödyntämällä osakokoonpanot tai osat voidaan tilata aina vakioina, mikä poistaa varustelun tarpeen ja näin vähentää loppukokoonpanoon kuluvaan aikaa. Laajentamisstrategian vakioinnilla saadaan vähennettyä variaatioiden sekaannuksia ja siten organisaatorasitusta. Lisäksi tuotteen varioimispiste siirtyy eteenpäin. Kasvaneet materiaali- ja valmistuskustannukset voidaan saada takaisin suoraviivaisemmalla tuotannolla ja suurentuneilla eräkoilla. Supistamisstrategialla säästetään yksittäisen tuotteen materiaali- ja valmistuskustannuksissa. Tällöin tuotteen sisäinen variaatio on suurempi ja saattaa aiheuttaa ylimääräistä organisaatorasitusta. Näiden lisäksi tuotteen varioimispiste aikaistuu. Mikäli elementissä olevat variaatiot ovat kustannuksiltaan erityisen kalliita, on usein järkevää käyttää supistamisstrategiaa. Tällöin tuotteisiin ei sisälly turhia asiakkaalle arvoa tuottamattomia ominaisuuksia.

3.4 Brownfield-prosessi

Brownfield-prosessi (BfP) keskittyy määrittelemään modulaarisuuden kannalta tärkeät näkökulmat ja sen tarkoitus on helpottaa modulaarisen tuoteperheen suunnittelua. BfP:n ensimmäinen versio esiteltiin Lehtonen et al. (2011) toimesta. Ensimmäinen versio sisälsi viisi vaihetta, jotka olivat:

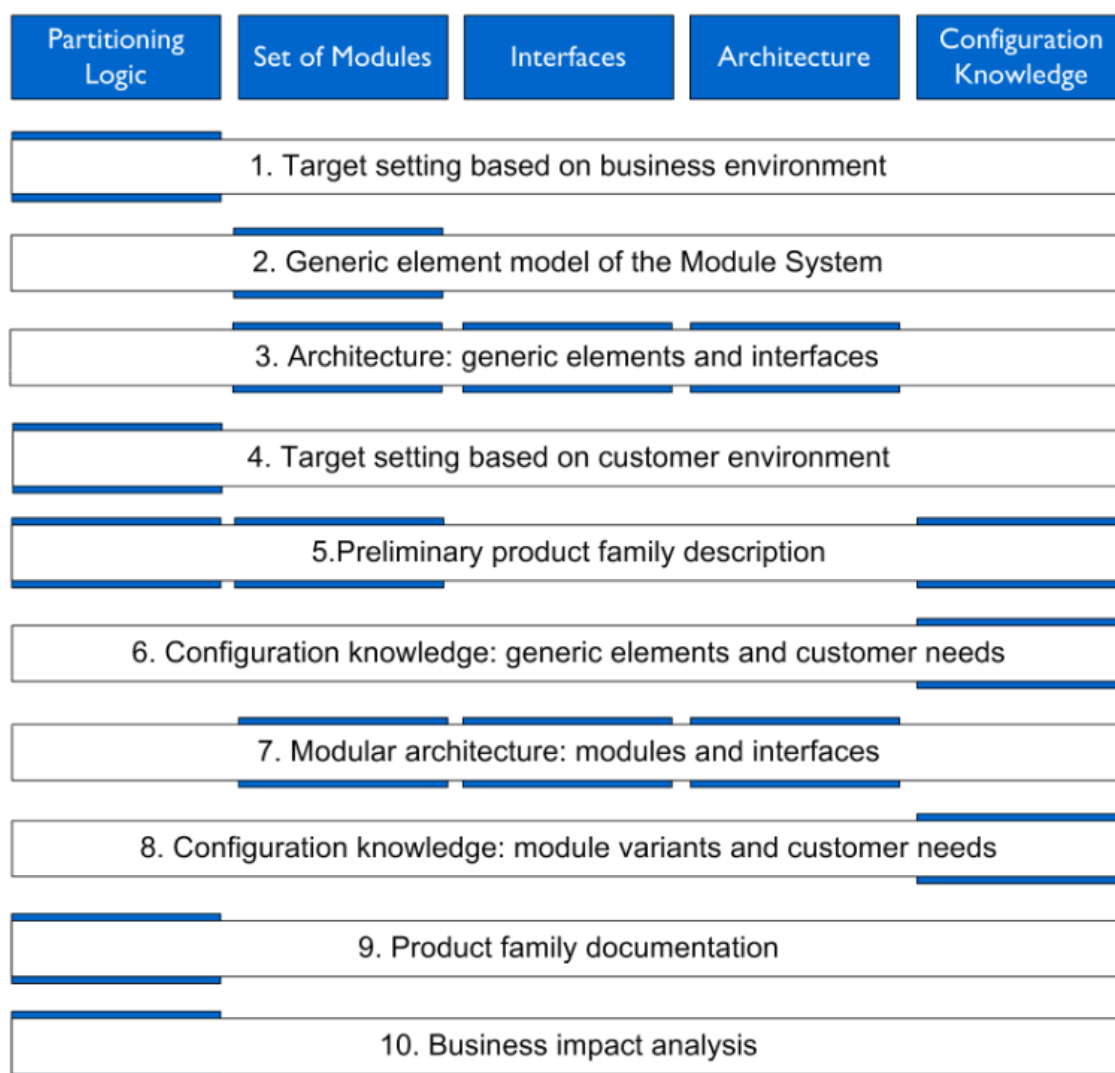
1. Liiketoiminnan tavoitteiden määrittely
2. Moduuliarkkitehtuurin luonnostelu käyttäen vanhoja ratkaisuja ja komponentteja
3. Markkina- ja asiakasvaatimusten päivittäminen ja perustelu
4. Modulaarisen arkkitehtuurin luominen mahdollisimman vähällä variaatiolla ja uuden suunnittelun tarpeen määrittely
5. Valitun arkkitehtuurin perustelujen dokumentointi

Pakkanen (2015, s. 171) päivitti BfP:a väitöskirjassaan ja lisäsi vaiheiden määrän kymmeneen. Vaiheiden lisäyksellä pyrittiin saamaan prosessi paremmin hallittaviin ja yksityiskohtaisempiin osioihin. BfP:n alussa ja lopussa suoritetaan liiketoimintaympäristön tarkastelua. Suunnittelun lopputulosten tulee sopia liiketoimintaympäristöön ollakseen kilpailukykyistä ja tuottavaa. Suunnittelun näkökulmasta BfP keskittyy tuoteperheen modulaarisen arkkitehtuurin suunnitteluun. Konfiguraatitiedon huomioimisella pyritään helpottamaan osien ja kokoonpanojen uudelleenkäyttöä myyntiprosessissa. Lisäksi tämä tieto tukee suunnittelun perustelujen dokumentointia ja voi helpottaa tuoteperheen päivitystä myöhemmin. (Pakkanen 2015, s. 171)

BfP:n jokaisen vaiheen tarkoituksena on määritellä suunnittelutietoutta eri moduulijärjestelmän pääelementteihin. Moduulijärjestelmä koostuu viidestä pääelementistä, joita ovat jakologiikka, moduulit, rajapinnat, tuotearkkitehtuuri ja konfiguraatitieto. Pääelementit voidaan tiivistää seuraavasti:

- **Jakologiikka** perustelee moduulijaon.
- **Moduulit** ovat moduulijärjestelmän rakennuspalikoita.
- **Rajapinnat** mahdollistavat moduuleiden itsenäisyyden ja vaihtokelpoisuuden.
- **Arkkitehtuuri** kuvaa moduulijärjestelmän layout-rakennetta ja määrittelee miten moduulit ja niiden rajapinnat ovat sijoitettuna tuotteessa.
- **Konfiguraatitieto** kuvaa moduulien ja asiakastarpeiden yhteensopivuutta ja rajoitteita.

Kuvassa 13 on esiteltynä Pakkanen luoma BfP. Jokaisen vaiheen kohdalla on esitettynä pääelementit, joihin kyseinen vaihe liittyy. BfP:n vaiheet esitellään kappaleissa 3.4.1–3.4.11.



Kuva 13. Brownfield-prosessin vaiheet ja niihin liittyvät moduulijärjestelmän pääelementit. (Pakkanen 2015, s. 172)

3.4.1 Brownfield-prosessin moduulijärjestelmä

Jakologiikka

Jakologiikka perustelee syyt modulaarisen tuotteen rakenteen muodostumiselle, johon kuuluvat perustelut myös moduulijaolle. Lehtosen (2007) mukaan on hyödyllistä aloittaa kehitysprosessi määrittelemällä tavoitteet liiketoiminta- ja asiakasnäkökulmasta, sekä lopussa varmistaa, että nämä tavoitteet ja odotukset on saavutettu. Juutin (2008, s. 5-46–5-47) mukaan tuotteen elementit voivat olla vakioita, konfiguroitavia, osittain konfiguroitavia tai ainutlaatuisia. Jakologiikan pitäisi perustella miksi tuotteen rakenteen elementit ovat tiettyä tyyppiä. Modulaaristen tuotteiden tapauksessa jakologiikan tulee selittää, mitkä elementit tai osuudet tuotteesta tarvitsevat variantteja ja miksi. (Pakkanen 2015, s. 67)

Moduulit

Moduulien suunnittelu etenee alustavien tai geneeristen moduulien suunnittelusta määriteltujen ja yksityiskohtaisten moduulien suunnitteluun. Moduuleina voidaan aluksi pitää moduuliehdokkaita ja myöhemmin ymmärryksen parantuessa ne suunnitellaan yksityiskohtaisemmin. Erilaisia moduuliversioita pitää miettiä teknologisen kehityksen ja muiden näkökulmien kannalta. (Pakkanen 2015, s. 67)

Rajapinnat

Pakkasen (2015, s. 68) mukaan mekaanisten rakenteiden rajapintoja käsitellään modulaarisuuteen liittyvässä kirjallisuudessa tyypillisesti abstraktisti. BfP on avoin erilaisille rajapintojen määrittelyille. Erilaisia kirjallisuuden määritelmiä rajapinnoille on käsiteltyinä kappaleessa 3.3.2.

Rajapinnat ovat geneeristen elementtien välisiä ja niiden tulisi olla aina vakioita tuoteperheen sisällä. Rajapinnoilla on keskeinen rooli modulaarisen arkkitehtuurin suunnittelussa tuoteperheelle. Vakioituneet rajapinnat mahdollistavat moduulien vaihtokelpoisuuden ja itsenäisyyden. Rajapintojen vakiointi ja määrittely helpottavat moduulivarianttien suunnittelua, sillä määrittely selittää minkälaisia vaatimuksia moduulin tulee täyttää. Hallinnollisesta näkökulmasta elementtien ja rajapintojen omistajuus on tärkeä aihe. Jos se laiminlyödään, on riskinä modulaarisen arkkitehtuurin heikentyminen ajan kuluessa, jolloin uudelleenkäytettävyyden hyödyt kadotetaan. (Pakkanen 2015, s. 206–207)

Arkkitehtuuri

Andreasenin (2011, s. 303) mukaan moduulit, vuorovaikutukset ja rajapinnat määritellään modulaarisessa arkkitehtuurissa. Modulaarinen arkkitehtuuri voidaan jakaa Fujimoton (2007) mukaan suljettuun ja avoimeen arkkitehtuuriin. Lehtosen (2007, s. 35) mukaan suljetussa arkkitehtuurissa kaikki mahdolliset moduulit ja niiden yhdistelmät ovat määriteltäviä. Avoimessa arkkitehtuurissa vain rajapinnat ovat määriteltäviä, mutta moduulit ja niiden yhdistelmät ovat määrittelemättä. Tuotteen arkkitehtuuri huomioi myös moduulien teknisen yhteensopivuuden tasolla, jota tarvitaan konfiguraatitiedon määrittelyssä. (Pakkanen 2015, s. 68)

Konfiguraatitieto

Asiakasvaatimukset aiheuttavat tuotteessa muunneltavuuden tarvetta. Konfiguraatitiedolla kuvataan mahdolliset yhdistelmät moduulien ja asiakasvaatimusten välillä. Konfiguraatitiedon esityksenä käytetään usein erilaisia matriiseja. (Pakkanen 2015, s. 68)

Konfiguraatitiedon avulla voidaan luoda myyntikonfiguraattori, jonka avulla asiakkaalle on helpompaa tarjota tarpeisiin sopivaa tuotetta. Oikea konfiguraatitieto on tärkeää

myyntitapahtumassa, jotta vältetään turhalta asiakaskohtaiselta räätälöinniltä, kun pystytään myymään valmiiksi määriteltyjä ratkaisuja.

3.4.2 Vaihe 1: Tavoitteiden asetus liiketoimintaympäristön perusteella

BfP:n ensimmäisessä vaiheessa asetetaan tavoitteet tuotekehitykselle liiketoimintaympäristön perusteella. Tavoitteiden asettamisen tarkoitus on määritellä modulaarisen tuoteperheen kehittämisen kohteet olemassa olevasta tuotevalikoimasta. BfP:lla pyritään muokkaamaan nykyistä tuotevalikoimaa kohti modulaarista tuoteperhettä. Prosessilla pyritään vähentämään tuotetarjoaman monimutkaisuutta etsimällä yhtäläisyyksiä tuotevalikoimassa samalla säilyttäen tuotteiden muunneltavuus. (Pakkanen 2015, s. 183–184)

BfP:n alussa valitaan vaikutusalue, joka määritellään nykyisen tuotevalikoiman pohjalta. Mikäli nykyinen tuotevalikoima on laaja tai sisältää useita erilaisia tuotetyppejä tai -luokkia, on mahdollisesti tarpeen keskittyä kapeampaan osaan tuotevalikoimasta. Modulointiprosessissa olevien tuotteiden lukumäärän pienentäminen vähentää tuotekehityksen monimutkaisuutta. Tämä helpottaa standardoitujen tai konfiguroitujen rajapintojen ja tuote-elementtien suunnittelua, mutta potentiaalinen hyötykin rajoittuu tälle alueelle. Mitä enemmän yhtäläisyyksiä koko tuotevalikoimalla on, sitä suuremmat hyödyt saavutetaan. (Pakkanen 2015, s. 184–185)

Vaikutusalueen valinnan jälkeen tarkennetaan tavoitteet. Tavoitteiden tarkennus voidaan tehdä joko Juutin (2008, s. 1-6) syy-seurauskaavion avulla tai Lehtosen (2007, s. 97) Company Strategic Landscape (CSL) viitekehityksellä. Kuvassa 2 esitetty syy-seurauskaavio sopii tilanteisiin, jossa yrityksellä on selvä näkemys, mitä hyötyjä modulaarisella tuoterakenteella ollaan etsimässä. CSL on suositeltu vaihtoehto kokonaisvaltaiseen tavoitteiden asettamiseen liiketoimintaympäristön pohjalta ja se on hyödyllinen, mikäli tuotekehityksen tavoitteet ovat epäselviä. (Pakkanen 2015, s. 186)

BfP:n tavoitteiden asettamisessa on tärkeää ottaa päätöksentekoon mukaan henkilöitä yrityksen useista eri toiminnoista. Tällä saadaan laajennettua ymmärrystä modulaarisen tuoteperheen kehityksen tarpeista ja eri sidosryhmien näkökulmat saadaan esille. Eri sidosryhmien edustajilla on omat näkemyksensä, miten modulaarinen rakenne hyödyttää heidän toimintaansa ja nämä näkemykset eivät välttämättä eri sidosryhmien välillä kohtaa. On tärkeää ottaa eri sidosryhmien näkemykset huomioon, sillä tuotetta ei voida optimoida yhden sidosryhmän näkökulman mukaan, vaan kokonaisuus tulee ottaa huomioon. (Pakkanen 2015, s. 186)

Ensimmäisessä vaiheessa asetetaan tavoitteet modulaarisen tuoteperheen kehitykselle liiketoimintaympäristön näkökulmasta. Vaiheessa huomioidaan tärkeät liiketoimintaympäristön näkökulmat ja liitetään ne tuotekehitykseen, minkä avulla selvitetään perustelut

modulaarisuudelle. Suositeltava lähestymistapa BfP:n ensimmäiseen vaiheeseen on CSL-malli, jonka avulla tunnistetaan liiketoimintaympäristön pääelementit ja vaatimukset tuotteen rakenteelle. Vaihe liittyy moduulijärjestelmän jakologiikkaan, sillä vaiheessa käsitellään tuotevalikoiman osituksen syitä liiketoimintanäkökulmasta. Jakologiikan muodostumiseen vaikuttaa vahvasti ensimmäisen vaiheen kehitystyön tekevä ryhmä ja heidän lähestymistapansa. (Pakkanen 2015, s. 186–188)

3.4.3 Vaihe 2: Moduulijärjestelmän geneeriset elementit

Toisen vaiheen tavoitteena on luoda alustava moduulirakenne. BfP:ssa alustava moduulirakenne tehdään geneeristen elementtien perusteella. Geneerinen elementti on abstrakti elementti tuotteen rakenteessa. Geneerinen elementti sisältää kaiken, mitä tarvitaan yhden muuntelun tarpeen toteuttamiseen ja sen pitäisi olla teknisesti toteutettavissa yksikkönä (Pakkanen et al. 2016, s. 221). Nykyisestä tuoterakenteesta tunnistetaan kokonaisuudet, joista tuote koostuu ja näitä kokonaisuuksia käytetään geneerisinä elementteinä. BfP:n mukaan tuotteet voidaan jakaa esimerkiksi rakenteen tai toiminnon perusteella geneerisiin elementteihin. Näitä elementtejä voivat olla esimerkiksi osajärjestelmät, kokoonpanot tai yksittäiset osat. (Pakkanen 2015, s. 188–189)

Geneeristen elementtien määrittelyä varten tarvitaan tietoa jokaisesta BfP:n laajuuteen sisältyvästä tuotteesta. Pakkanen (2015, s. 190) suosittelee määrittelyyn workshop-muotoista toteutusta, johon osallistuu vahvan tuotetiedon omaavia henkilöitä. Geneerisiä elementtejä määrittäessä yhteiset ominaisuudet eri elementtien välillä tulee huomioida. Mikäli kahdella tai useammalla geneerisellä elementillä on yhteisiä ominaisuuksia, tulee pohtia voisiko niistä määrittellä vain yhden geneerisen elementin. Yhteiset ominaisuudet eri geneeristen elementtien välillä saattavat aiheuttaa turhaa variaatiota tuoteperheen sisällä. (Pakkanen 2015, s. 190)

Toisen vaiheen tavoitteena on määrittellä lista geneerisistä elementeistä alustavaa moduulijakoa varten, jonka avulla lähdetään määrittämään arkkitehtuuria ja tuoterakennetta. Geneeriset elementit määritellään tarkemmin kehitysprosessin edetessä. Toinen vaihe liittyy moduulijärjestelmän moduuleihin. (Pakkanen 2015, s. 191)

3.4.4 Vaihe 3: Arkkitehtuuri: rajapinnat geneeristen elementtien välillä

BfP:n kolmannessa vaiheessa luonnostellaan arkkitehtuuri, jossa määritellään geneeriset elementit ja niiden rajapinnat. Vaiheessa keskitytään geneeristen elementtien sijoitteluun tuotteessa ja alustavien rajapintojen sijoittamiseen elementtien välille. (Pakkanen 2015, s. 191)

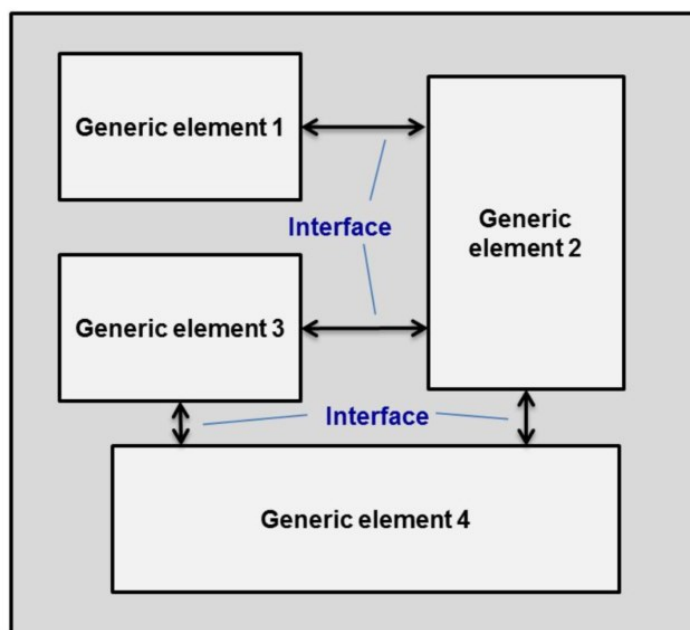
Geneeristen elementtien välisten rajapintojen tunnistaminen on tärkeä osa arkkitehtuuria. Rajapinnat mahdollistavat modulaarisen arkkitehtuurin, joka voi olla suljettu tai avoin. Suljetulla modulaarisella arkkitehtuurilla tarkoitetaan tuoteperhettä, joka sisältää ainoastaan tietyt määritellyt moduulit ja rajapinnat. Avoin modulaarinen arkkitehtuuri sen sijaan huomioi mahdolliset tulevaisuuden tarpeet nykyisen tuoteperheen rajapinnoissa. Avomessa arkkitehtuurissa on omat haasteensa, sillä tilavaraukset ja muut tulevaisuuden tarpeet tulee ottaa huomioon arkkitehtuuria suunnitellessa. (Pakkanen 2015, s. 191–192)

Vaiheen suorittamiseen on muutamia erilaisia lähestymistapoja, mutta tärkeintä on saada selvitettyä geneeristen elementtien väliset rajapinnat. Tässä voidaan hyödyntää esimerkiksi kuvassa 14 esiteltyä Design Structure Matrix (DSM) -menetelmää. Matriisiin listataan geneeriset elementit ja merkitään eri geneeristen elementtien väliset rajapinnat. (Pakkanen 2015, s. 192)

DSM for interface recognition	Generic element 1	Generic element 2	Generic element 3	Generic element 4	Generic element 5
Generic element 1					
Generic element 2	x				
Generic element 3	x	x			
Generic element 4		x			
Generic element 5			x		

Kuva 14. DSM-työkalulla tunnistetaan eri geneeristen elementtien väliset rajapinnat. (Pakkanen 2015, s. 192)

Kolmannessa vaiheessa ei vielä tarvita rajapintojen tarkkaa määrittelyä, vaan pelkkä tunnistaminen riittää. Rajapintojen määrittely suoritetaan myöhemmin seitsemännessä vaiheessa. Kuvassa 15 on esiteltynä alustava arkkitehtuuri, johon on sijoitettu geneeriset elementit ja niiden väliset rajapinnat. (Pakkanen 2015, s. 193)



Kuva 15. Esimerkki alustavasta arkkitehtuurista, jossa on geneeriset elementit ja niiden väliset rajapinnat. (Pakkanen 2015, s. 193)

Kolmannen vaiheen tavoitteena on määrittellä miten geneeriset elementit ovat sijoiteltuna tuotteeseen ja mitä rajapintoja kullakin elementillä on toistensa kanssa. Vaihetta voidaan pitää aloituspisteenä rajapintojen suunnittelulle. Kolmas vaihe liittyy moduulijärjestelmän moduuleihin, rajapintoihin ja arkkitehtuuriin. (Pakkanen 2015, s. 193)

3.4.5 Vaihe 4: Tavoitteiden asetus asiakasympäristön perusteella

Asiakasympäristön ymmärrys on tärkeää, jotta yritys pystyy muuttamaan toimintatapaansa projektitoimituksista konfiguroitavaan tuotetoimitukseen esimääritellyillä ratkaisuilla. Asiakasvaatimukset tulee olla selvillä, jotta voidaan määrittellä konfiguraatiosäännöt. Konfiguraatiosääntöjen avulla voidaan toimittaa oikeanlainen tuote tiettyjen asiakasvaatimusten perusteella. Konfiguroinnin etuja on vaikea hyödyntää, mikäli asiakasvaatimuksia ei analysoida. (Pakkanen 2015, s. 194)

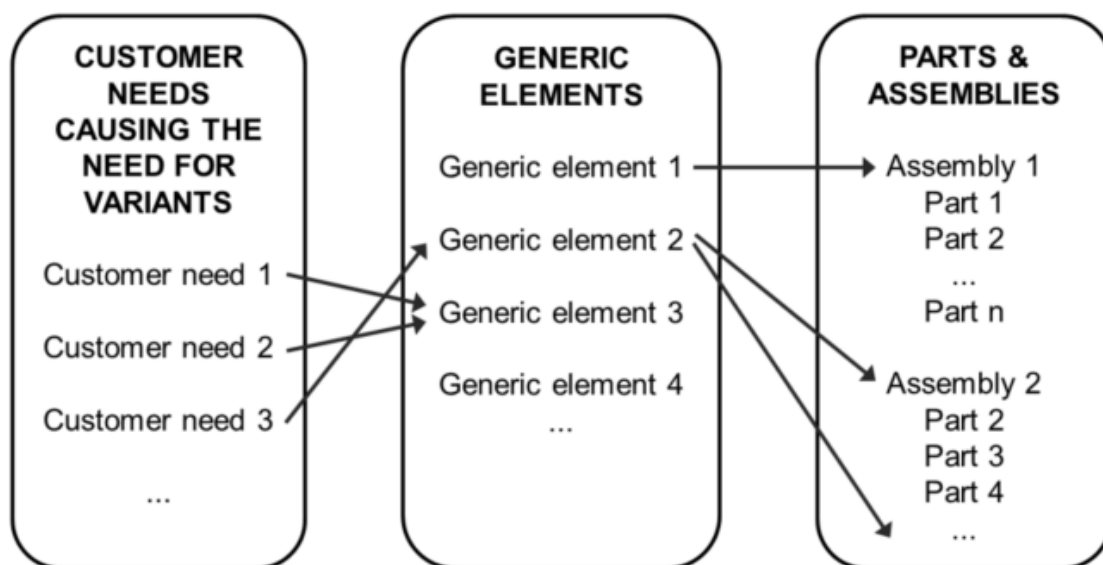
Tuotteen vaatimukset tulee selvittää todellisilla ja ajantasaisilla tiedoilla, eikä selvityksessä tule miettiä vanhojen tuotteiden ominaisuuksia. Näin saadaan todelliset asiakasvaatimukset esiin uuden modulaarisen tuoteperheen suunnittelua varten. BfP suosittelee asiakasvaatimusten selvittämiseen Gripen-menetelmää. Menetelmän perustana on ymmärrys asiakkaiden prosesseista, joissa he käyttävät tuotetta. Asiakasvaatimusten määrittelyssä keskitytään muuttuviin asioihin eri käyttötilanteissa. (Pakkanen 2015, s. 194–195)

Gripen-menetelmää voidaan hyödyntää jaottelemalla erilaisia asiakastarpeita niiden teknisten ratkaisujen perusteella. Tämä lähestymistapa ohjaa tarjoamaan suurempia ratkaisukokonaisuuksia yksittäisten komponenttien sijaan. Yrityksen näkökulmasta tällainen menetelmä vähentää erilaisten variaatioiden tarvetta, jolloin ei tarjota yksittäisiä osia vaan laajempia ratkaisuja asiakasvaatimuksiin ja käyttötilanteisiin. Tämä mahdollistaa paremman yhteensopivuuden ja helpottaa tuotteen suunnittelua. (Pakkanen 2015, s. 195)

Neljännessä vaiheessa keskitytään analysoimaan variaation tarvetta asiakkaan näkökulmasta. Tavoite on selvittää miten ja missä asiakas käyttää tuotetta ja huomioida nämä asiat modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa. Vaiheen tuotokset liittyvät moduulijärjestelmän jakologiikkaan, sillä asiakastarpeet määrittelevät kuinka modulaarisen tuoteperheen rakenne kannattaa jaotella. Mikäli asiakastarpeita ei ymmärretä oikein, ei välttämättä saavuteta modulaarisuuden hyötyjä. (Pakkanen 2015, s. 195–196)

3.4.6 Vaihe 5: Alustava tuoteperheen kuvaus

BfP:n viidennessä vaiheessa jatketaan tuoteperheen perusteiden määrittelyä ja analysoidaan geneerisiin elementteihin liittyvien osien ja kokoonpanojen vakioimismahdollisuuksia. Harloun (2006, s. 106–107) mukaan asiakas, tekniikka ja osat/kokoonpanot ovat kolme tärkeää näkökulmaa tuoteperheen kuvauksessa. BfP:ssa käytetään muokattua Harloun (2006, s. 106–107) esittämää Product Family Master Plan (PFMP) -menetelmää tuoteperheen kuvaukseen. Muokatussa PFMP:ssa on kolme näkökulmaa tuoteperheen tarkasteluun; variaation tarpeen aiheuttavat asiakasvaatimukset, geneeriset elementit sekä osat ja kokoonpanot. Muokattu PFMP on esitettyä kuvassa 16. (Pakkanen 2015, s. 196–197)



Kuva 16. BfP:n muokattu PFMP, jossa alustava tuoteperheen kuvaus suoritetaan kolmen näkökulman avulla. (Pakkanen 2015, s. 197)

Neljännessä vaiheessa selvitetty muuntelua aiheuttavat asiakastarpeet ja toisessa vaiheessa selvitetty geneeriset elementit toimivat PFMP:n lähtötietoina. Viidennen vaiheen tavoitteena on analysoida eri näkökulmien välisiä yhteyksiä sekä listata osia ja kokoonpanoja, jotka liittyvät kuhunkin geneeriseen elementtiin. Lähestyminen voidaan aloittaa tutkimalla joko asiakastarpeiden ja geneeristen elementtien välistä suhdetta tai geneeristen elementtien ja osien/kokoonpanojen välistä suhdetta. Kaikki muunteluun vaikuttavat asiakastarpeet käydään läpi ja ne yhdistetään niihin liittyviin geneerisiin elementteihin. Tavoitteena on, että jokaista asiakastarvetta kohden on vähintään yksi geneerinen elementti. Mikäli johonkin geneeriseen elementtiin ei liity muunneltavaa asiakastarvetta, on hyvät todennäköisyydet vakioda kyseinen geneerinen elementti. Geneeriset elementit, joihin vaikuttavat useat asiakastarpeet, ovat haastavia moduloinnin kannalta. (Pakkanen 2015, s. 197)

Geneeristen elementtien ja osien sekä kokoonpanojen välisten yhteyksien tarkastelulla pyritään havainnoimaan nykyisten tuotteiden ratkaisuja. Nykyisten tuotteiden ratkaisut eivät välttämättä sisällä juurikaan yhteneväisiä ratkaisuja, joten samankaltaisiin asiakastarpeisiin saattaa olla useita erilaisia ratkaisuja. Jokaisella varioituvalla osalla tai moduulilla pitää olla yhteys asiakastarpeeseen, joka selittää varioinnin tarpeen. Poikkeuksia voi kuitenkin aiheutua yrityksen sisäisten prosessien variaation tarpeesta, esimerkiksi osien valmistettavuuteen liittyen. (Pakkanen 2015, s. 198)

Viidennen vaiheen tavoitteena on nostaa esiin yhteisten ominaisuuksien mahdollisuudet nykyisten tuotteiden kanssa ja harkita tarvittavaa variaatioiden lukumäärää, jolla saadaan toteutettua muuntelun aiheuttavat asiakastarpeet. Vaiheen tuloksena saadaan tuoteperheen esirakenne, jossa on kuvattuna yhteydet asiakastarpeiden, geneeristen elementtien

sekä osien/kokoonpanojen välillä. Viides vaihe vaikuttaa moduulijärjestelmän jakolokiikkaan, moduuleihin ja konfiguraatietietoon. (Pakkanen 2015, s. 199)

3.4.7 Vaihe 6: Konfiguraatietieto: geneeriset elementit ja asiakastarpeet

Kuudennessa vaiheessa jatketaan konfiguraatietiedon määrittelyä. Tässä vaiheessa tavoitteena on selvittää geneeristen elementtien ja muuntelutarpeen aiheuttavien asiakastarpeiden yhteys. Konfiguraatietiedon tarkoitus on tukea myyntiä kuvaamalla, mitä moduuleja valitaan tietyn asiakastarpeen toteuttamiseksi (Pakkanen et al. 2016, s. 227). Konfiguraatietiedon selkeä esitys voi olla hyödyllistä etenkin tulevaisuudessa, kun tuoteperheeseen suunnitellaan päivityksiä, muutoksia tai uusia versioita. (Pakkanen 2015, s. 199)

Pakkasen (2015, s. 200) mukaan suositeltava menetelmä tähän vaiheeseen on K-matriisi, joka on alkujaan osa Bongulielmi et al. (2002, s. 4–5) K- & V-matriisimenetelmää. Se on konfiguraatiomatriisi, jolla voidaan tarkastella teknisen ja asiakasnäkökulman yhteyttä. Alkuperäisessä versiossa yhteydet merkittiin käyttäen kyllä/ei-vaihtoehtoja. BfP:n tässä vaiheessa tekninen näkökulma ei ole vielä niin pitkälle kehitetty, joten käytettäväksi suositellaan seuraavia merkintätapoja:

- Asiakastarve vaatii geneerisen elementin.
- Asiakastarve sulkee pois geneerisen elementin.
- Asiakastarve saattaa vaikuttaa geneeriseen elementtiin.
- Asiakastarve ei vaikuta geneeriseen elementtiin.

Näiden merkintöjen avulla luodaan alustava K-matriisi, jota täydennetään BfP:n kahdeksannessa vaiheessa (Pakkanen 2015, s. 200–201). K-matriisi on esitettyä kuvassa 17.

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

(1) Customer need requires generic element
 (2) Customer need excludes generic element
 (3) Customer need might affect generic element
 (empty cell) Customer need does not affect generic element

GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS	CUSTOMER NEEDS	Customer need group 1	Customer need 1.1	Customer need 1.2	Customer need 1.3	Customer need group 2	Customer need 2.1	Customer need 2.2	Customer need group 3	Customer need 3.1	Customer need 3.2	Customer need 3.3	Customer need 3.4	Customer need 3.5	Customer need group 4	...
Generic element 1																	
Generic element 2										1							
Generic element 3			1				1										
Generic element 4							1										

Kuva 17. Esimerkki BfP:ssa käytettävästä muunnellusta Bongulielmin (2002, s. 4–5) K-matriisisista. (Pakkanen 2015, s. 201)

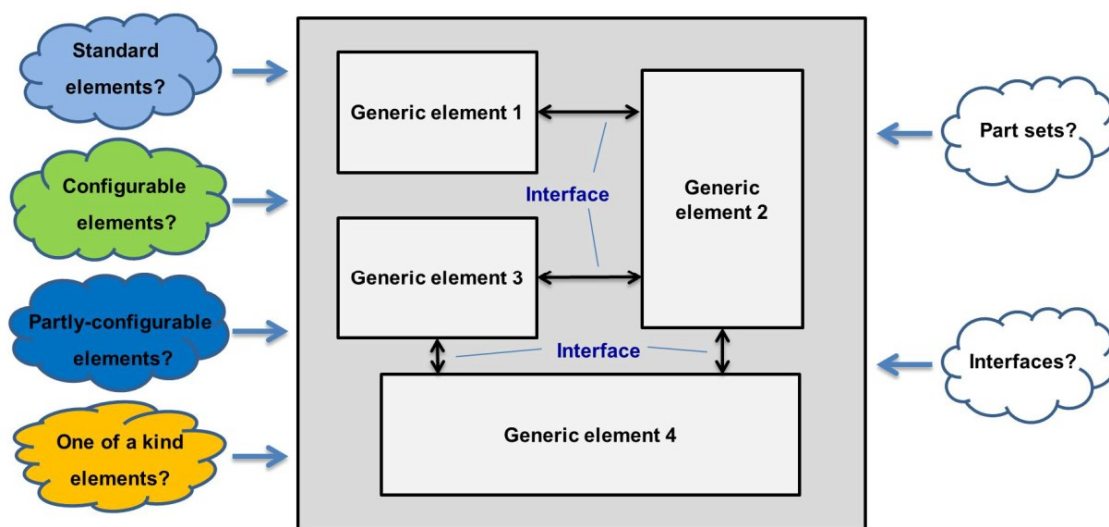
K-matriisia hyödynnetään myöhemmin kuvaamaan lopullista konfiguraatiota, kun tekninen osuus on saatu suunniteltua yksityiskohtaisemmin. Kuudennen vaiheen tuotoksia hyödynnetään lopullisen konfiguraation sekä moduulien ja rajapintojen määrittämisessä. Kuudes vaihe vaikuttaa moduulijärjestelmän konfiguraatietietoon. (Pakkanen 2015, s. 201)

3.4.8 Vaihe 7: Modulaarinen arkkitehtuuri: Moduulit ja rajapinnat

Seitsemännessä vaiheessa modulaarisen tuoteperheen rakenne määritellään yksityiskohtaisemmin. Geneeristen elementtien sisällön määrittämiseksi yksityiskohtaisemmin tulee Pakkanen et al. (2016, s. 228) mukaan keskittyä seuraaviin asioihin:

- Tuoteperheen vakio-osioiden määrittämien
- Tuoteperheen muuntuvien osioiden määrittämien
- Geneeristen elementtien osasettien määrittämien
- Modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuurin selkeyttäminen ja rajapintojen määrittäminen

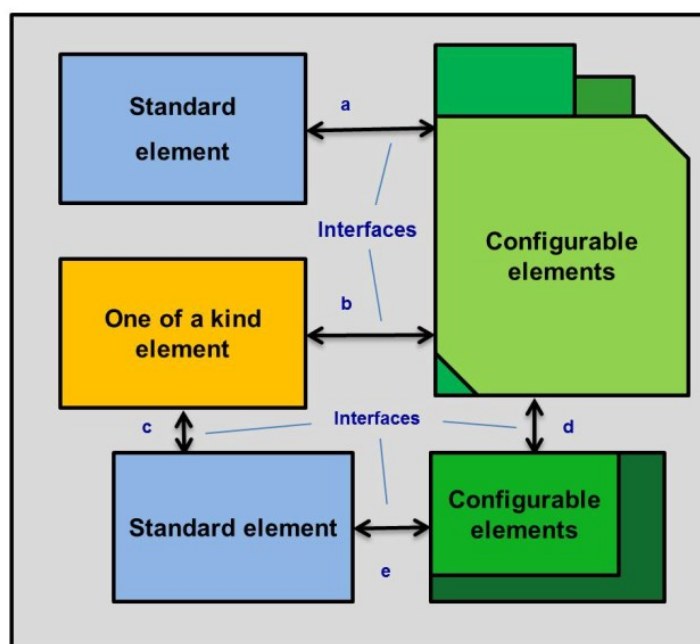
BfP suosittelee aloittamaan arkkitehtuurin yksityiskohtaisemman suunnittelun tunnistamalla geneeristen elementtien tyypit, joita ovat vakio-, konfiguroitava-, osittain konfiguroitava- ja yksilöllinen elementti (Pakkanen 2015, s. 202). Kuvassa 18 on esitettyä tuotteen arkkitehtuuri, jonka geneerisiä elementtejä tunnistetaan. Arkkitehtuuri jalostuu elementtityyppien määrittelyn jälkeen kuvan 19 mukaiseksi.



Kuva 18. Seitsemännennen vaiheen arkkitehtuurin lähtökohdat geneeriset elementtien ja niiden rajapintojen määrittelylle. (Pakkanen 2015, s. 204)

Tavoitteena on hyödyntää tuotteissa mahdollisimman paljon vakioratkaisuja ja minimoida vaihtokelpoisten vakiomoduulien määrä muuntelua vaativissa kohteissa, joissa vakioelementti ei ole perusteltu. Tehokkaan muuntelun mahdollistamiseksi elementtien väliset rajapinnat tulee myös vakioida. Geneerinen elementti on hyvä ehdokas vakioelementiksi, jos siihen ei kohdistu muuntelun tarvetta ja se voidaan toteuttaa yhdellä ratkaisulla. (Pakkanen 2015, s. 204)

Geneerinen elementti, johon kohdistuu erilaisia asiakasvaatimuksia, on haasteellinen suunnittelun kannalta. Moduloinnin kannalta on edullista käyttää mahdollisimman paljon vakioelementtejä. Elementti voidaan toteuttaa siten, että se toteuttaa kaikki erilaiset asiakasvaatimukset. Tämänlaisesta elementistä saattaa muodostua hyvin kallis, mikäli näitä vaatimuksia ei ole kuin murto-osalla asiakkaista. Vaihtoehtoisesti voidaan harkita vakioitujen vaihtokelpoisten moduulien, eli konfiguroitavien elementtien käyttämistä. Mikäli kohtuullista määrää vakioituja moduuleja ei voida määrittellä geneeriselle elementille, tulee geneerinen elementti jakaa pienempiin osiin, muuttaa geneeristen elementtien jakoa tai ratkaisuperiaatetta. Tämä saattaa johtaa osittain konfiguroituihin tai yksilöllisiin elementteihin. Nämä elementit ovat kompromisseja, eikä niiden suunnittelu osaksi modulaarista tuoterakennetta ole välttämättä järkevää. Elementtien monimutkaisuuden ja vähäisen myyntivolyymin vuoksi voi olla järkevää suunnitella osa ratkaisusta tilauskohtaisesti. (Pakkanen 2015, s. 204–205)



Kuva 19. Esimerkki tuoteperheen arkkitehtuurista, jossa geneeriset elementit on tunnistettu. (Pakkanen 2015, s. 206)

Pakkasen mukaan tuoteperheen suunnittelussa on tärkeää huomioida kokonaisarkkitehtuuri, eikä vain etsiä ratkaisuja yksittäisiin muuntelun tarpeisiin. Tämän huomioimiseksi tulee tunnistaa geneeristen elementtien osakokonaisuuksien väliset rajapinnat muiden geneeristen elementtien osakokonaisuuksien kanssa. Vakioiduilla rajapinnoilla on keskeinen rooli modulaarisen tuoteperheen suunnittelussa. (Pakkanen 2015, s. 206)

Seitsemännessä vaiheessa keskitytään tuoteperheen modulaarisen arkkitehtuurin määrittelyyn. Arkkitehtuuri määrittää minkälaisia elementtejä ja rajapintoja tuoteperhe sisältää. Vaihe vaikuttaa moduulijärjestelmän arkkitehtuuriin, moduuleihin ja rajapintoihin. (Pakkanen 2015, s. 207)

3.4.9 Vaihe 8: Konfiguraatietieto: moduulivariantit ja asiakas-tarpeet

BfP:n kahdeksannessa vaiheessa määritellään konfiguraatietiedot tarkemmin. Pohjana määrittelylle toimivat kuudennessa vaiheessa tehty K-matriisi ja seitsemännessä vaiheessa määritetyt geneeriset elementit. Tässä vaiheessa konfiguraatietieto määritellään geneeristen elementtien todellisten ratkaisujen perusteella. Pakkanen (2015, s. 209) suosittelee tämän vaiheen lähestymistavaksi kuvassa 20 esitettyä K-matriisia. Matriisia hyödynnettiin myös kuudennessa vaiheessa, mutta nyt siihen lisätään geneeristen elementtien tyyppit ja sisällöt. (Pakkanen 2015, s. 208–209)

Modified K-Matrix (configuration knowledge matrix)

(1) Customer need requires generic element / solution
 (2) Customer need excludes generic element / solution
 (3) Customer need might affect generic element / solution
 (empty cell) Customer need does not affect generic element / solution

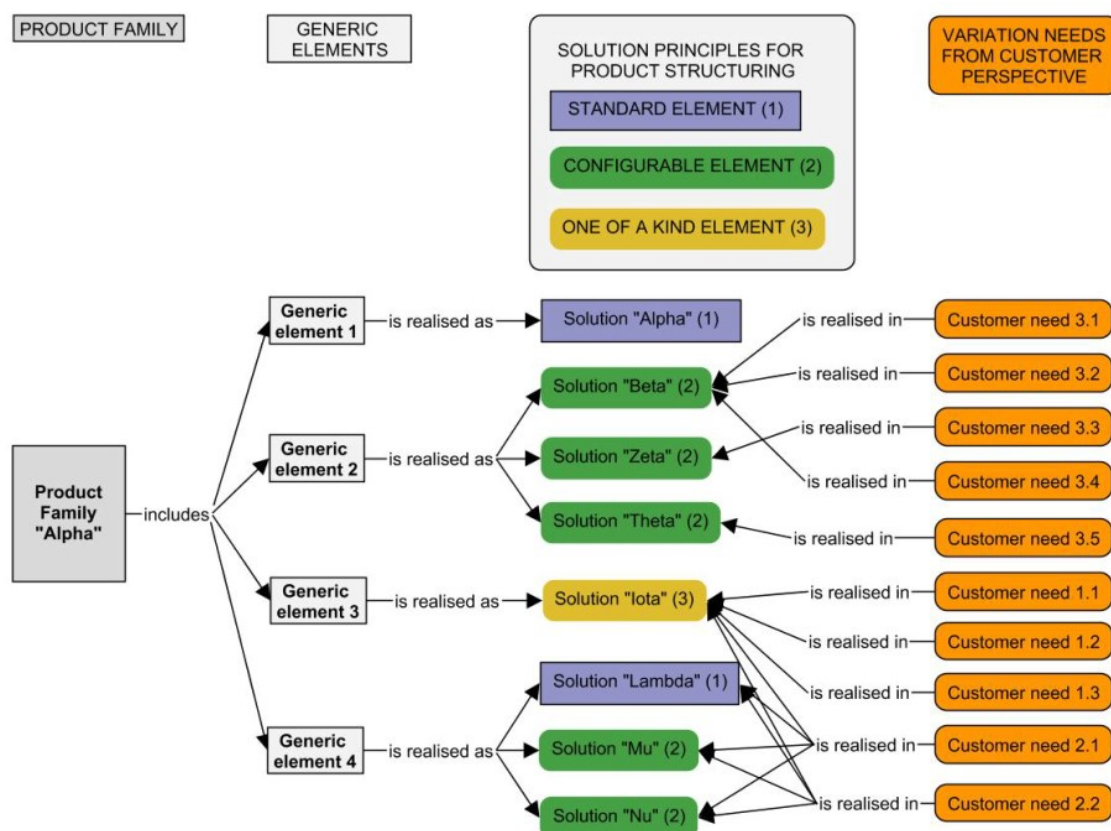
		CUSTOMER NEEDS											
		Customer need group 1			Customer need group 2			Customer need group 3			Customer need group 4		
		Customer need 1.1	Customer need 1.2	Customer need 1.3	Customer need 2.1	Customer need 2.2	Customer need 3.1	Customer need 3.2	Customer need 3.3	Customer need 3.4	Customer need 3.5	Customer need 4.1	...
GENERIC ELEMENTS	CONTENT AND TYPE OF GENERIC ELEMENTS												
Generic element 1	Solution "Alpha" (Standard element)												
Generic element 2	Solution "Beta" (Configurable element) Solution "Zeta" (Configurable element) Solution "Theta" (Configurable element)						1	1	1	1			
Generic element 3	Solution "Iota" (One of a kind element)	1	1	1	1	1					1		
Generic element 4	...				1								

Kuva 20. Modulaarisen tuoteperheen valmis konfiguraatiotieto täydennettynä kuudennessa vaiheessa käytettyyn K-matriisiin. (Pakkanen 2015, s. 209)

Oikean konfiguraatiotiedon pohjalta voidaan luoda myyntikonfiguraattori. Myyntikonfiguraattoria rakentaessa on syytä olla selvillä yhteensopivista optioista. Mikäli asiakas valitsee tietyn option, se voi poissulkea muita optioita. Oikein rakennetulla konfiguraattorilla saadaan asiakas valitsemaan vain teknisesti toteutuskelpoisia ratkaisuja. Kahdeksannen vaiheen tavoitteena on yhdistää yhteensopivat ratkaisut ja asiakastarpeet havainnollistamalla, mikä moduulivariantti on yhteensopiva tietyn asiakastarpeen kanssa. Vaihe liittyy moduulijärjestelmän konfiguraatiotietoon. (Pakkanen 2015, s. 208–210)

3.4.10 Vaihe 9: Tuoteperheen dokumentaatio

Yhdeksännessä vaiheessa luodaan tuoteperheelle dokumentaatio suunnittelupäätösten pohjalta. BfP suosittelee dokumentoimaan jokaisen vaiheen tuotoksen itse vaiheessa. Yhdeksännnen vaiheen dokumentoinnilla kuitenkin pyritään kuvaamaan tuoteperheen sisältöä ja selittämään mihin asiakastarpeeseen mikäkin elementti ja ratkaisu vastaavat. BfP suosittelee käyttämään Product Structuring Blue Print -menetelmää (PSBP) dokumentaatioon, joka visualisoi jakologiikan ja suunnitteluperusteet. Kuvassa 21 esitetty PSBP linkittää tuoteperheen, geneeriset elementit, tuoterakenteen ratkaisuperiaatteet ja asiakastarpeet. (Pakkanen 2015, s. 211–212)

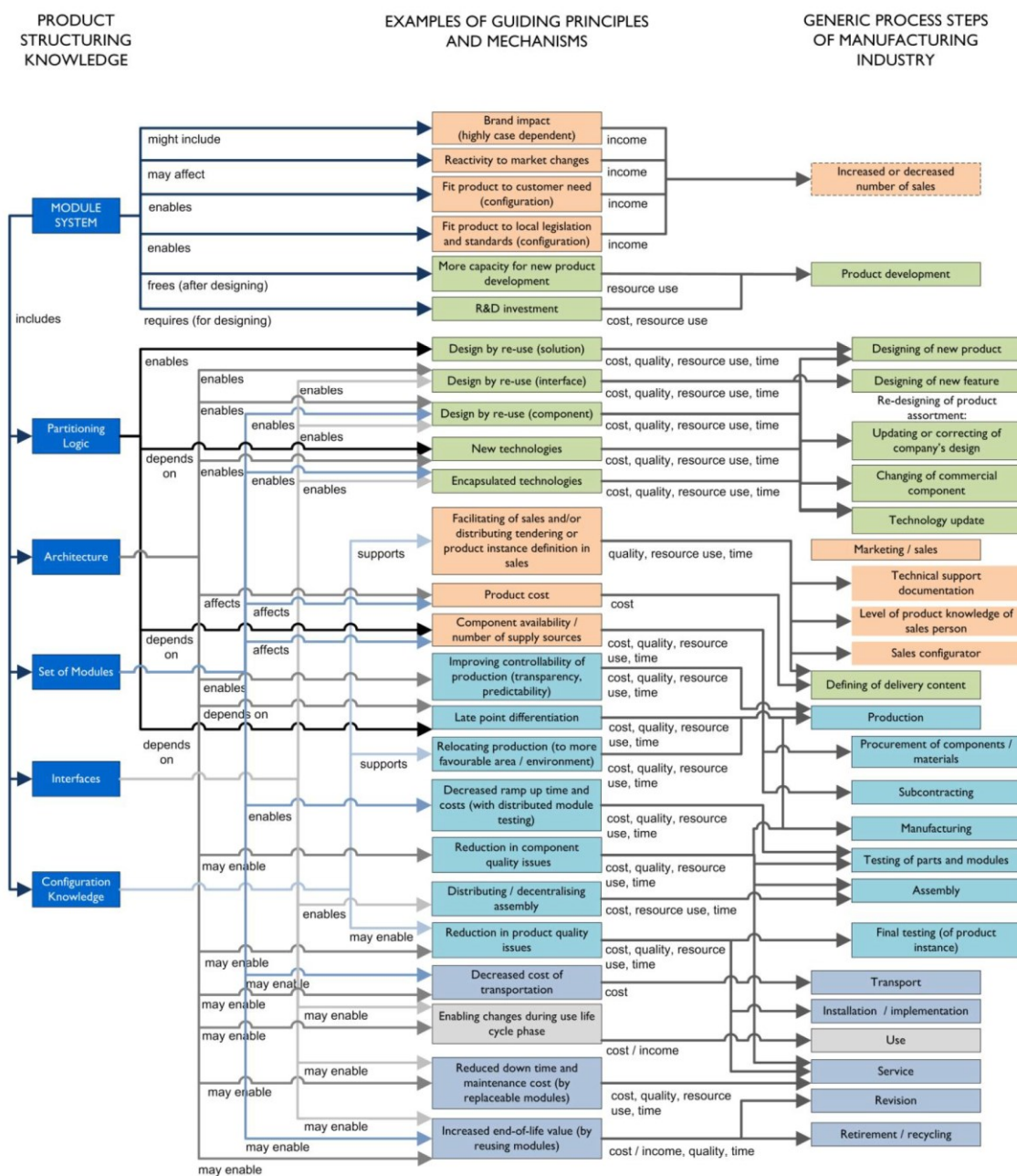


Kuva 21. PSBP visualisoi päättelyketjun asiakastarpeen ja tuoteperheen välillä. (Pakkanen 2015, s. 212)

Yhdeksännen vaiheen tavoitteena on luoda PSBP-dokumentaatio. Dokumentaatio voi helpottaa suunnittelutyötä ja lisätä suunnittelun uudelleenkäyttöä, sillä se lisää suunnitteluperusteiden visuaalisuutta. Vaihe liittyy moduulijärjestelmän jakologiikkaan. (Pakkanen 2015, s. 212)

3.4.11 Vaihe 10: Liiketoimintavaikutusten analyysi

Viimeisessä vaiheessa suoritetaan liiketoimintavaikutusten analyysi. Tuotekehityksen tuloksia on tärkeää analysoida, jotta ymmärretään, kuinka hyvin tuotekehityksen tavoitteet on saavutettu ja voiko uusi tuoteperhe olla kilpailukykyinen. BfP:ssa jakologiikka, arkkitehtuuri, moduulit, rajapinnat ja konfiguraatietieto ovat tärkeitä moduloinnin suunnittelutiedon elementtejä. Näiden eri moduulijärjestelmän elementtien vaikutuksia liiketoimintaan esitetään kuvassa 22. (Pakkanen 2015, s. 212–214)



Kuva 22. Moduulijärjestelmän vaikutuksien arviointi liiketoimintaan. (Pakkanen 2015, s. 215)

Liiketoimintavaikutusten analyysissä kuvataan moduulijärjestelmän eri osa-alueiden vaikutuksia ohjausperiaatteisiin ja -mekanismeihin. Nämä periaatteet kuvaavat modulaarisuuden tavoitteita, ilmiöitä tai ongelmia. Lisäksi liiketoimintavaikutusten analyysissä kuvataan ohjausperiaatteiden ja -mekanismien vaikutusta valmistusteollisuuden geneerisiin prosesseihin. Näitä geneerisiä prosesseja ovat esimerkiksi tuotekehitys, markkinointi/myynti, tuotanto, kuljetus, käyttö ja huolto. Erilaisia vaikutussuhteen tyypejä ge-

neerisiin prosesseihin ovat kustannus, laatu, resurssien käyttö ja aika. Osa näistä vaikutussuhteista on oletuksia, eikä niitä välttämättä ilmene tai niiden suuruutta on vaikea arvioida. (Pakkanen 2015, s. 214)

Liiketoimintavaikutusten analyysin lopputuloksena on arvio modulaarisen tuoteperheen kehitysprojektin vaikutuksista. Analyysin oletuksena on tuotekehitysprojektin ja operatiivisen toiminnan kehityksen onnistuminen. Lopputuloksena on positiivisin realistinen arvio, mutta sen saavuttamisesta ei ole varmuutta. (Pakkanen 2015, s. 221)

BfP suosittelee käyttämään kustannusarvioissa deka-deja eli esimerkiksi tuhat, kymmentuhatta tai satatuhatta, sillä tarkkojen arvojen selvittämien voi olla liian hankalaa. Arviointia tulisi suorittaa riittävän kauan, jotta myös myöhemmän elinkaaren vaikutukset ja toistojen tuomat edut saataisiin selville. Kustannusten arviointi suoritetaan deka-deissa, joten suurimmat dekadit ovat merkittävimmissä rooleissa ja niitä voidaan tarvittaessa tutkia tarkemmin. Kaikkia ohjausperiaatteita tai -mekanismeja ei välttämättä tunneta niin hyvin, että niiden vaikutuksia pystyttäisiin arvioiminaan. Myös tämä tieto on oleellinen modulaarisuuden vaikutusten arvioinnin kannalta. (Pakkanen 2015, s. 221)

Analyysin tavoitteena on arvioida tuoteperhettä yhtenä kokonaisuutena, jonka lähtökohdat on asetettu kehitysprosessin alussa. Mikäli tuoteperhe sisältää täysin erilaisia ominaisuuksia, voi liiketoimintavaikutusten analysoimisessa esiintyä haasteita. Jotkut variantit saattavat aiheuttaa täysin päinvastaisia vaikutuksia liiketoimintaan, jolloin analyysin lopputulos saattaa muuttua merkityksettömäksi. Ratkaisu tämänkaltaisen tapauksen selvittämiseksi on jakaa tuoteperhe osiin ja tehdä arviointi jokaiselle osalle. Tämän avulla voidaan tutkia, pitäisikö jakologiikkaa tai arkkitehtuuria tarkastella uudelleen. (Pakkanen 2015, s. 221–222)

3.5 Suunnittelusäännöt

Laun (2011, s. 178) tutkimuksen mukaan kohdeyritysten suunnittelijoiden mielestä suunnittelusäännöt ovat matemaattisia ja hankalia ymmärtää. Kohdeyritysten suunnittelijat eivät varsinaisesti ymmärtäneet suunnittelusääntöjä ja siksi niiden hyödyntäminen oli hankalaa. Suunnittelusääntöjä oli kyllä tarjolla, mutta niiden selvittelyyn ei ollut aikaa. Modulointi suoritettiin oman teknisen osaamisen pohjalta.

Kirjallisuuden mukaan suunnittelusäännöt voivat auttaa lyhentämään tuotekehitysaikaa ja vähentää ongelmia prosessin loppuvaiheissa (Clark & Baldwin 2000, s. 268). Valmistajat näyttäisivät omaksuvan suunnitteluohjeita valikoivasti ja hyödyntävän niitä oman modulointikokemuksensa kanssa. Suunnitteluohjeita luotaessa onkin tärkeää keskittyä tekemään ohjeista ymmärrettäviä ja helppoja omaksua, jotta ohjeita käytettäisiin. Käyttämättömät suunnitteluohjeet eivät hyödytä ketään.

4. CASE: METSO

Tässä osiossa keskitytään Metsoon ja esitellään yritys ja sen tuotteita. Osiossa esitellään ongelmia aiheuttaneita ratkaisuja vanhoista tuotteista. Lisäksi esitellään modulaarisuuden esiselvitysprojehtin Brownfield-prosessi.

4.1 Metso ja tuotteet

Metso Oyj on alansa johtavia teollisuusyrityksiä ja tarjoaa laitteita ja palveluita kaivos-, kivenmurskaus-, kierrätys- ja prosessiteollisuudessa. Metson liikevaihto oli vuonna 2017 noin 2,7 miljardia euroa. Metsolla on toimintaa 51 maassa ja yli 12 000 työntekijää. Metson liiketoiminta jakautuu Minerals ja Flow Control segmentteihin. Liiketoiminta-alueita on seitsemän: Mining Equipment, Aggregates Equipment, Minerals Services, Minerals Consumables, Valves, Pumps ja Recycling. Kuvassa 23 on esitetty Metson tarjoama eri teollisuusaloittain. (Metso Vuosikatsaus 2017, s. 4–6)

Asiakas-teollisuus	Kivenmurskaus	Kaivosteollisuus	Prosessiteollisuus	Kierrätysteollisuus
Laitteet	Kivenmurskaus-laitteet	Kaivoslaitteet	Venttiilit, laitteet ja palveluratkaisut	Laitteet ja varaosat metallin ja jätteen kierrätykseen
Varaosat ja palveluratkaisut	Kivenmurskauksen varaosat ja palveluratkaisut	Varaosat, kunnostukset ja palveluratkaisut kaivoksille		
Kulutusosat	Kulutusosat mineraalienkäsittelyyn			

Kuva 23. Metson tarjoama. (Metso Vuosikatsaus 2017, s. 14)

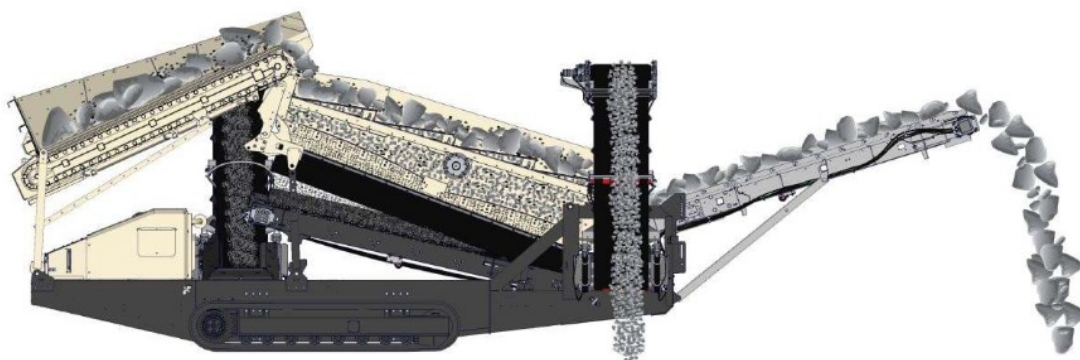
Metso Mineralsin liiketoiminnot sisältävät materiaalinkäsittelyratkaisuja- ja järjestelmiä kaivosasiakkaille sekä murskaus- ja seulontalaitteita kivenmurskausasiakkaille. Lisäksi tarjoamaan kuuluu vara- ja kulutusosaratkaisut näille asiakasryhmille. Metson Flow Control -segmentti sisältää venttiilejä ja pumppuja sekä niihin liittyviä palveluita. (Metso Vuosikatsaus 2017, s. 26–27)

4.2 ST-mobiiliseula

Metso Lokotrack on Minerals segmentin kivenmurskauslaitteisiin kuuluva tuoteperhe, joka sisältää tela-alustaisia murskain- ja seulontalaitteita. ST-mobiiliseulat kuuluvat Lokotrack tuoteperheeseen. Seulat ovat monikäyttöisiä ja niillä voidaan seuloa kiviaineksen lisäksi esimerkiksi multaa tai kierrätysmateriaalia. Kuvassa 24 on esitetty ST2.4 mobiiliseula.



Kuva 24. Metso ST2.4 mobiiliseula. (Lokotrack ST2.4 mobile scalping screen. 2011)



Kuva 25. ST2.8 mobiiliseulan toimintaperiaate. (Lokotrack ST2.8 Mobile scalping screen. 2014)

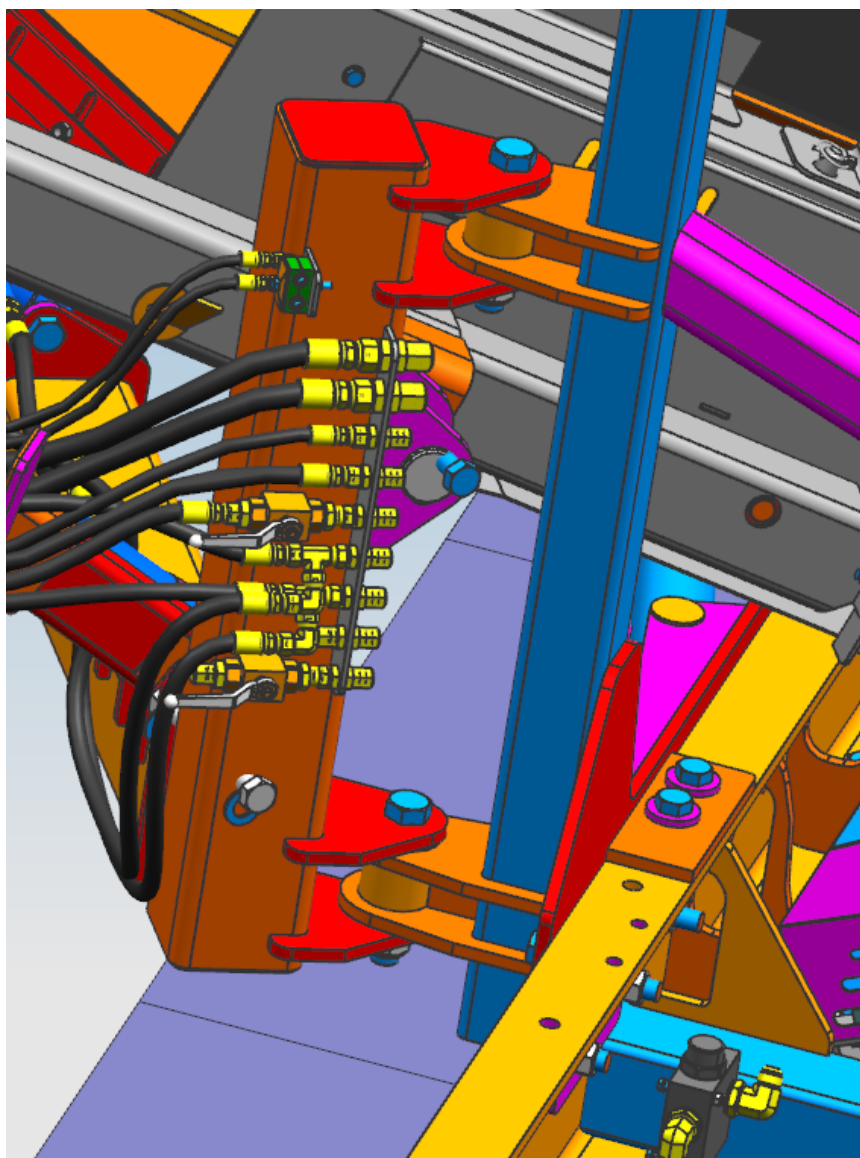
Yksinkertaistettuna seulan tehtävänä on erotella syötettävä materiaali useammaksi halutun kokoiseksi materiaaliksi. Kuvassa 25 on esitelty ST2.8 seulan toimintaperiaate.

Seulottava materiaali syötetään kaivinkoneella, pyöräkuormaajalla tai kuljettimella syöttimelle. Syötin siirtää materiaalin seulalle. Seulan seulontamedia, kuten verkko päästä lävitseen pienemmän materiaalin ja seulontamediaa suurempi materiaali kulkeutuu seulan ylitse. Seulontamedioita voi olla useampia tasoja, joista jokaisen tason materiaali siirretään omilla kuljettimillaan joko lopputuotteeksi tai uudelleenprosessoitavaksi.

4.3 Mobiiliseulan nykyiset ongelmat

Tässä osioissa esitellään eräs mobiiliseuloissa ongelmia aiheuttanut ratkaisu. Ratkaisun pohjalta pyritään pohtimaan miten asiat voisi tehdä toisin, jotta vastaavia ongelmia ei ilmenisi jatkossa. Pohdintoja apuna käyttäen luodaan suunnitteluohjeet kappaleessa 5.

ST4.8 mobiiliseulan ylitekuljettimen kiinnitys on aiheuttanut tuotannossa ongelmia vaihteleavan kokoonpantavuuden vuoksi. Kuljetin kiinnitetään rungossa olevaan H-tukeen kahdella samankeskisellä M30 ruuvilla ja on tällöin käännettävissä rungon viereen kuljetusasentoon. H-tuessa on kaksi holkkia, joiden lävitse ruuvit asennetaan. Holkit ovat kiinnitettyinä levyleikkeillä tukikehikkoon. Kuljettimen tukirakenteessa on kaksi laippaa ruuvia kohden, joiden läpi kiinnitysruuvit asennetaan. Ongelmana rakenteessa on ollut se, että holkit eivät mahdu kiinnikkeiden väliin, jolloin kiinnikkeitä ja holkkeja on jouduttu tuotannossa muokkaamaan. Ylitekuljettimen kiinnitys H-tukeen on esitettyä kuvassa 26.

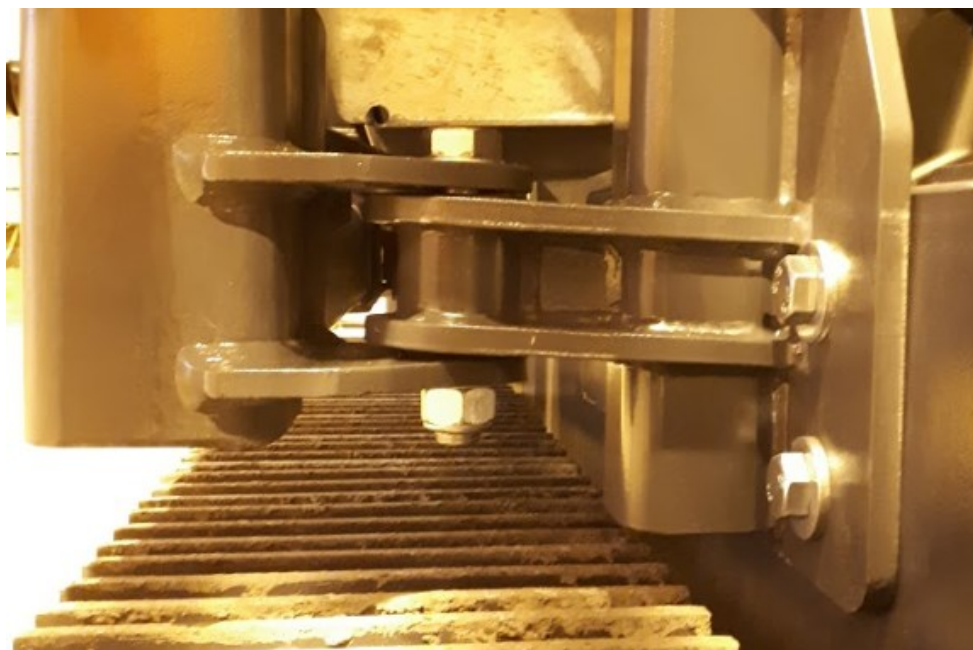


Kuva 26. ST4.8 ylitekuljettimen kiinnitys H-tukeen.

Kuljettimen tukirakenteen laipat ovat kohdistettavissa samalle linjalle muotoiltujen laippojen ansiosta. Laippojen reikien tulisi olla samankeskisiä, jotta niiden läpi tulevat ruuvit olisivat suorassa ja menisivät H-tuessa olevien holkkien läpi. Jokainen laippa hitsataan kummaltakin puolelta kiinni tukirakenteen RHS-putkeen. Laippojen paikoitus tapahtuu käsin mittaamalla, sillä rakenteessa ei ole paikoitusta helpottavia loveuksia. Paikoituksessa tapahtuu helposti virheitä, sillä paikoitettavia levyjä on neljä kappaletta ja niiden tulisi olla oikealla etäisyydellä toisiinsa nähden. Tuen piirustuksessa mitoituksessa ei ole huomioitu paikoituksen tärkeyttä yhteensopivuuden varmistamiseksi, vaan mitat ovat juoksevia mittoja RHS-putken päästä ja lisäksi on mitoitus levyjen välistä. Tämä mitoitusmenetelmä ei ole yksiselitteinen, joten noudatettaessa juoksevaa mitoitusta yhden laipparin toleranssit kaksinkertaistuvat, sillä niiden molempien sijoitus tapahtuu mitalla RHS-putken päästä.

Laippojen välinen etäisyys voidaan myös kyseenalaistaa tässä tilanteessa, sillä kuljettimen tukirakenne makaa aina vain ylemmän laipan varassa. Laippojen välinen etäisyys voisi olla tässä tapauksessa suurempikin, jotta H-tuen kiinnitys mahtuisi aina niiden väliin. Mikäli laippojen etäisyys kuitenkin koetaan oikeaksi, olisi paikoituksen helpottamiseksi kannattavaa asettaa laippojen väliin levyleike. Levyleike pakottaisi levyt oikealle etäisyydelle toisistaan ja helpottaisi niiden asetusta yhdensuuntaisiksi. Tällöin ainoa haastava osuus olisi laippaparien välisen etäisyyden mittaaminen.

H-tuessa olevat holkit kiinnitetään laipoilla tukirakenteen RHS-putkeen. Laipat tulevat holkin ympärille, joten kuljettimen tuen akselointi onnistuu, kunhan holkit ovat sopivalla korkeudella. Laipat ovat muotoon leikattuja ja ne tulevat RHS-putken ympärille kolmelta sivulta, joten holkit on helppo asettaa samankeskeisiksi. Ongelmana on kuitenkin saada holkit oikealle korkeudelle. H-raudan piirustuksen mitoituksessa ei ole huomioitu liitoksen tärkeyttä, vaan mittoja on asetettu piirustukseen ilman selkeää näkemystä kokoonpanon vaatimuksista. Kuvan 27 tapauksessa H-tuen alapään kiinnitys sopii onnekkaisesti paikalleen, sillä kiinnike on vääntynyt hitsauksessa ”oikeaan” suuntaan.



Kuva 27. H-tuen alapään kiinnityksen hitsaus.

Hitsattavan rakenteen osat olisi hyvä pystyä paikoittamaan levyleikkeiden koloilla tai vastaavilla, jotta hitsaus olisi mahdollisimman helppoa. Levyleikkuun tarkkuus on huomattavasti suurempi kuin käsin mitattu tarkkuus. Loveuksissa tulee olla kuitenkin välystä, joka vie rakenteen tarkkuutta. Metson ohjeistuksen mukainen tarkkuus on 1 mm välilyönnin ja siihen tulevan levyn välillä. Tarkemmilla levyleikkuumenetelmillä tätä välystä olisi myös mahdollista pienentää. Aina kuitenkin loveaminen ei ole järkevää rakenteesta

tai kustannuksista johtuen. Tämänlaisissa tapauksissa pitäisi erityisesti kiinnittää huomiota piirustuksiin, jotta hitsauksen virhemarginaali saataisiin mahdollisimman pieneksi.

4.4 Modulaarisuuden esiselvitysprojekti

Tässä osiossa esitellään modulaarisuuden esiselvitysprojektin lähtökohdat ja tuotokset. Projektissa hyödynnettiin Brownfield-prosessia.

4.4.1 Projektin lähtökohdat

Metsolla aloitettiin tuotteiden modulaarisuuden esiselvitysprojekti yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston tutkijaryhmän kanssa, jonka yhtenä kohteena oli pienen kokoluokan mobiiliseulat. Projektin pääajurina pienten mobiiliseulojen liiketoimintanäkökulmasta on valmistuskustannusten pienennys. Tavoitteena on vähentää valmistuskustannuksia 10 prosenttia. Projektilla pyritään vähentämään tuoteportfolion monimutkaisuutta käyttämällä yhteisiä moduuleja ja rajapintoja ja siten vähentää osien kokonaismäärää. Tämän avulla voidaan kasvattaa asiakasvariaatioiden määrää, vaikka osien lukumäärää pienennetään. Varastoitavien osien määrän vähentämisellä ja osien saatavuuden parantamisella saavutetaan huomattavia etuja huoltoliiketoiminnassa.

Mobiiliseulaprojektissa käytettiin Pakkasen (2015) luomaa Brownfield-prosessia, jonka hyödyntämisestä teollisuudessa on hyviä kokemuksia. Projektissa keskitytään pienen kokoluokan mobiiliseuloihin, joista on tavoitteena luoda samoja moduuleja hyödyntävä tuotepihe. Mikäli projektista saadaan hyviä kokemuksia, on laajempaan tavoitteena luoda sopiva tuotearkkitehtuuri, joka mahdollistaa moduloinnin koko tuoteportfoliossa pitkällä tähtäimellä.

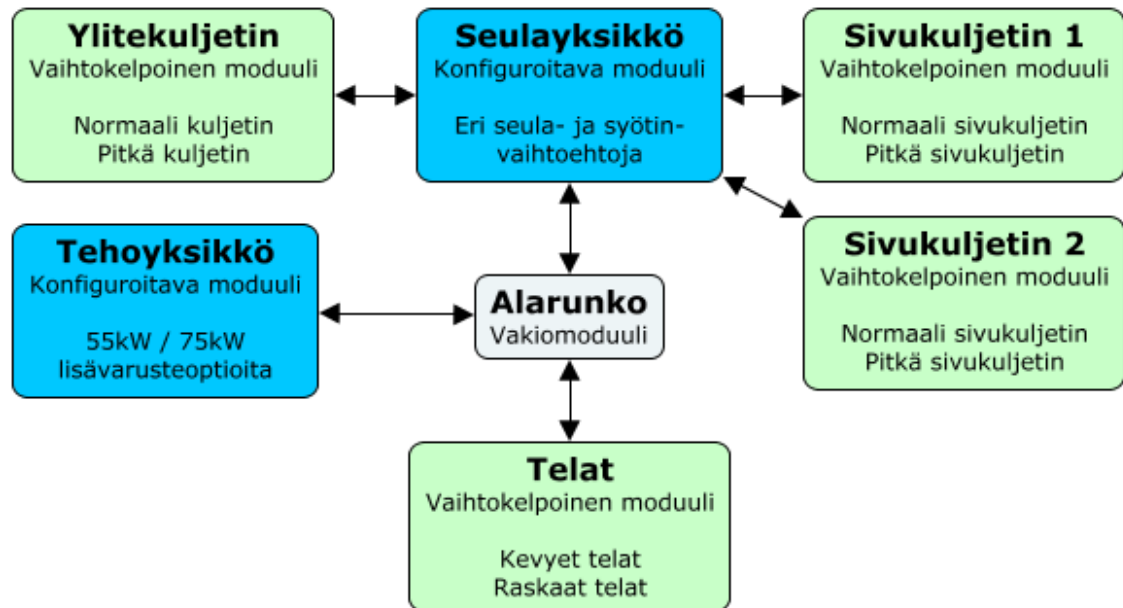
4.4.2 Projektin tuotokset

Projektissa analysoitiin modulaarisuuden liiketoimintavaikutuksia. Analyysin perusteella moduloinnilla voidaan saavuttaa huomattavia etuja ympäri organisaatiota, eivätkä hyödyt rajoitu ainoastaan tuotantoon. Lisäksi modulaarisuuden avulla voidaan kehittää huolto- ja varaosaliiketoimintaa. Käytettyjen laitteiden uudelleenmyynti nähdään myös uutena liiketoimintamahdollisuutena, jota ei olla aikaisemmin harjoitettu.

Mobiiliseulojen suhteen tavoitteena on kehittää globaalisti valmistettavissa oleva kone ja moduulit. Tarkoituksena on mahdollistaa laitteen ja sen moduulien valmistus kaikkialla maailmassa. Tätä varten suunnittelussa on huomioitava eri tuotantolaitosten ja toimittajien valmiudet tuotteen ja sen moduulien valmistukselle. Laite suunnitellaan niin pie-

neksi, että se on mahdollista kuljettaa merikontissa. Konttikuljetuksella saadaan huomattavia säästöjä kuljetuskustannuksissa, jotka ovat merkittävät suhteessa koneen hintaan etenkin pienen kokoluokan laitteissa (Bernhofen et al. 2016, s. 40).

BfP:n avulla luotiin geneeriset elementit, joista muodostettiin eri tyyppisiä moduuleja. Mobiiliseulan rakenne sisältää vakiomoduuleja, vaihtokelpoisia moduuleja ja konfiguroitavia moduuleja. Tuotteen arkkitehtuuri on esitettyä kuvassa 28.



Kuva 28. Mobiiliseulojen tuoteperheen arkkitehtuuri. Moduulien väliset nuolet esittävät rajapintoja.

Modulointia on tarkoitus suorittaa koko tuoteportfoliossa pidemmällä tähtäimellä. Luotua arkkitehtuuria voidaan hyödyntää koko tuoteportfoliossa, mikäli se osoittautuu toimivaksi. Samoja moduuleja ei välttämättä pystytä hyödyntämään kaikissa laitteissa, mutta monet ratkaisuperiaatteet ovat varmasti käyttökelpoisia eri kokoluokan laitteissa.

5. SUUNNITTELUOHJEIDEN LUOMINEN

5.1 Lähtökohdat

Metso on lisännyt panostusta modulaaristen tuotteiden kehittämiseksi ja tämä projekti on ensimmäinen Brownfield-prosessilla luotu modulaarinen tuoteperhe. Suunnittelussa huolenpito on hyvän valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden saavuttaminen modulaarisessa tuoteperheessä, sillä rajapintojen määrä nousee verrattuna aikaisempiin rakenteisiin. Tuotteen rakenne muuttuu huomattavasti edeltävistä laitteista, vaikka se etäisesti muistuttaa vanhaa mallia.

Tuotteen kokoonpano halutaan saada mahdollisimman helpoksi ja nopeaksi. Tuotteen loppukokoonpanon nopeuttamiseksi pienten osien asennusta pyritään välttämään linjakokoonpanossa ja ne siirretään moduulikokoonpanoihin. Kokoonpantavuuden kannalta tärkeimpänä asiana voidaan pitää osien ja moduulien yhteensopivuutta, eli osat eivät saa törmätä toisiinsa vaan osien pitää sopia suoraan kohdalleen. Kokoonpanovaiheessa tapahtuvaa osien väkivaltaista sovitusta tulisi pyrkiä välttämään, sillä se hidastaa etenkin linjakokoonpanoa ja usein myös luo tarpeen uudelle pintakäsittelylle. Osien yhteensopivuuteen vaikuttavat hyvin monet asiat. Modulaarisessa suunnittelussa rajapintojen ja tilavarauksen hallinta nousevat korostetusti esiin, sillä vaihtokelpoisten moduulien pitää sopia niille kohdistettuun tilaan ja rajapintoihin.

Toinen tärkeä asia on asennuksen yleinen sujuvuus, johon vaikuttaa hyvin monet asiat kuten kiinnitysmenetelmä, asennussuunta, käsiteltävyys, asennustila ja saavutettavuus. Näihin voidaan soveltaa jossain määrin perinteisiä DFMA-menetelmiä, kunhan huomioidaan raskaan teollisuuden vaatimukset rakenteiden lujuudelle. Myös DFMA suosittelee käyttämään modulaarista rakennetta (Sage & Rouse 2014, s. 527–528). Yleisesti DFMA painottaa osien lukumäärän vähennystä, mutta modulaarisessa tuotteessa kiinnitysosien vähennys ei välttämättä ole kannattavaa tai helppoa. Raskaan teollisuuden tuotteissa kiinnitysosien lisääminen saattaa laskea tuotteen kustannuksia, mikäli sillä voidaan keventää rakenteiden tarkkuusvaatimuksia. Tärkeintä on varmistaa rajapintojen yleiskäyttöisyys, jotta moduulien vaihtokelpoisuus pystytään takaamaan.

5.2 Arkkitehtuuri

Arkkitehtuuri kuvaa tuoteperheen jakautumista tuoterakenteen elementteihin. Lisäksi se kuvaa toimintojen jakautumisen näihin elementteihin. Arkkitehtuuri siis esittää kuinka näitä elementtejä voidaan yhdistellä tuotteiksi. Tuoteperheen arkkitehtuuri määrittelee tuoterakenteen, joka koostuu geneerisistä elementeistä. Rakenne luodaan BfP:ssa ja sen

tarkoituksena on täyttää vaihtelevat asiakastarpeet mahdollisimman pienellä sisäisellä variaatiolla.

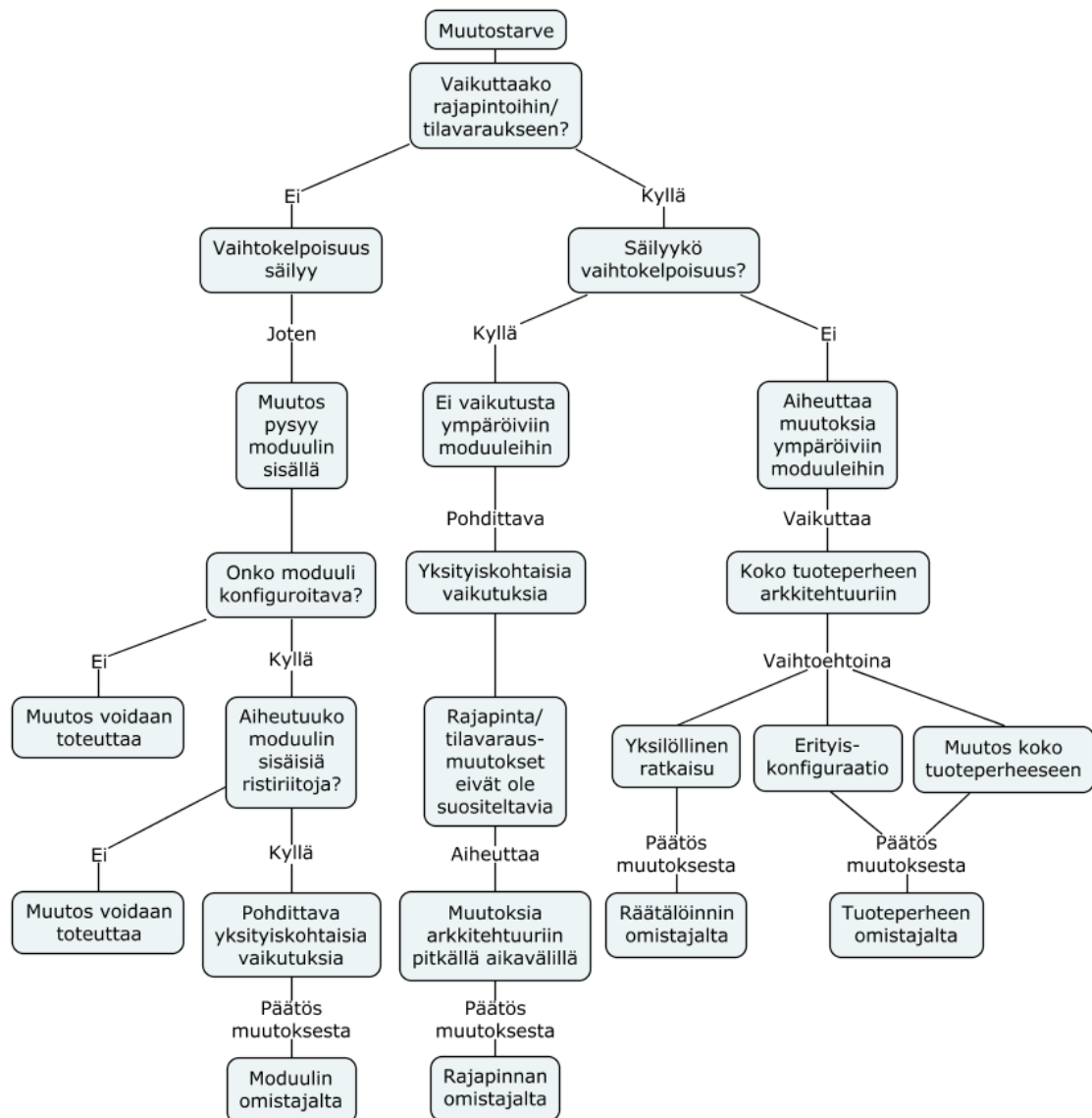
Ulrich & Eppingerin (2012, s. 191) mukaan modulaarinen ja integraalinen arkkitehtuuri eroavat toisistaan myös käytännön suunnittelun osalta. Integraalisessa arkkitehtuurissa alkupään suunnitteluun ei tarvitse käyttää niin paljoa aikaa, mutta loppupään suunnittelu on työläämpää. Loppuvaiheen suunnittelussa joudutaan selvittämään konflikteja ja sovittamaan kohdetta ympäristöön. Modulaarinen arkkitehtuuri taas vaatii enemmän suunnittelua alkuvaiheessa, mutta moduulikohtainen suunnittelu on helpompaa. Modulaarisessa arkkitehtuurissa suunnittelutehtävät voidaan jakaa moduulikohtaisiin kokonaisuuksiin, joissa tulee vain täyttää moduulikohtaiset vaatimukset. Modulaarinen arkkitehtuuri mahdollistaa helpomman tehtävienjaon pienemmälle ryhmälle.

Tuotevalikoiman arkkitehtuurin kehitys tulisi hahmottaa 3–5 vuotta eteenpäin ja yksi menetelmä tähän on tiekartta (engl. road map) (Harlou 2006, s. 83). Kokonaan uuden arkkitehtuurin luominen on hyvin suuri prosessi ja pitkän elinkaaren tuotteissa onkin kannattavaa panostaa mieluummin arkkitehtuurin päivittämiseen pitkällä aikajänteellä. Modulaarisen arkkitehtuurin hallinta on tärkeä osa modulaarisuutta, jotta modulaarisuudella tavoiteltuja etuja ei menetetä. Muutoksia tuotteeseen ja tuoteperheeseen tulee välttämättä ja niiden oikeanlainen kontrollointi on tärkeää. Lähtökohtaisesti tuoteperheen rakenne tulisi pysyä mahdollisimman kauan vakiona, jotta modulaarisuuden hyödyt pidemmällä aikavälillä saadaan esiin. Hyödyt eivät rajoitu ainoastaan helpompaan valmistettavuuteen vaan suuri osa hyödyistä on toimitusketjussa ja jälkimarkkinoilla.

Clarkson et al. (2004, s. 788) mukaan tuotteita muokataan ja vaihdetaan jatkuvasti. Tämän vuoksi tuotteissa on jatkuvaa kehitystä, joka aiheuttaa haasteita suunnitteluun. Muutokset saattavat vaikuttaa pieniltä, mutta usein yhden osan muutos aiheuttaa muutoksia myös muihin ympäröiviin osiin, mistä voi aiheutua pitkiäkin muutosketjuja. Näiden muutosketjujen ennustaminen on hyvin hankalaa etenkin monimutkaisissa tuotteissa. Muutoksen vaikutuksien arviointi onkin erityisen tärkeää suunnittelussa, jotta välttyään ei toivotuilta vaikutuksilta.

Kuvassa 29 on esitettyä kaavio muutostarpeen toteuttamisesta modulaarisessa arkkitehtuurissa. Suurimpana tekijänä muutoksenhallinnassa on rajapintojen ja tilavarauksen säilyvyys. Mikäli nämä asia pysyvät ennallaan, on muutos usein helppoa toteuttaa. Modulaarisuuden tarkoituksena onkin pyrkiä pitämään muutokset moduulien sisäisinä. Mitä pienemmällä alueella muutos tapahtuu, sitä kivuttomampaa se on koko tuotearkkitehtuurille. Kaavion tarkoituksena on havainnollistaa muutosten vaikutuksia ja saada suunnittelija ajattelemaan seuraamuksia ennen muutosten tekemistä. Etenkin suurempien muutostarpeiden kohdalla on tärkeää suorittaa laajempaa pohdintaa muutoksien vaikutuksista.

Monessa tapauksessa on kannattavampaa käyttää hieman enemmän voimavaroja suunnittelussa ja tehdä muutos ilman vaikutuksia rajapintoihin ja tilavaraukseen, jotka mahdollistavat vaihtokelpoisuuden. Suunnittelijan tekemällä vaihtokelpoisuuden poistavalla muutoksella saattaa olla yllättävän kalliita seuraamuksia, ellei asiaa analysoida riittävän huolellisesti. Jotkut muutostarpeet saattavat olla kuitenkin niin suuria tai erikoisia, että moduulin vaihtokelpoisuutta ei voida säilyttää. Näissä tilanteissa tulee pohtia, onko muutos ylipäättään järkevää tehdä. Tuotteen arkkitehtuurin kannalta kevyempi ratkaisu on tehdä suuremmat yksittäiset muutokset asiakaskohtaisina ratkaisuin. Asiakaskohtaisia ratkaisuja tehdessä on tärkeää hinnoitella ne oikein, jotta niistä ei koidu tappioita. Sopivalla hinnoittelulla voidaan ohjata kuluttajaa modulaarisiin ratkaisuihin.



Kuva 29. Muutoksen vaikutukset tuotteeseen.

Tuotteeseen tehtävällä muutoksella on suuret kerrannaisvaikutukset, mikäli se aiheuttaa muutoksia rajapintoihin ja ympäröiviin moduuleihin. Vanhat moduulit eivät tämän jälkeen ole enää yhteensopivia uuden rakenteen kanssa. Kuitenkin vanhoja moduuleja ja niihin liittyviä varaosia pitää edelleen pystyä tarjoamaan uusien lisäksi, joten varaosavarastot kasvavat huomattavasti. Lisäksi vanha rakenne saattaa edelleen pysyä tarjoamassa, joten tarjottavien moduulien määrä kasvaa huomattavasti ilman selvää tuotteen muunneltavuuden nousua. Tämä nimikkeiden kokonaismäärän kasvu rasittaa koko organisaatiota. Harkitsemattoman muutoksen vuoksi varastoon saattaa jäädä valmiiksi tilattuja osia, jotka eivät ole yhteensopivia uuden rakenteen kanssa.

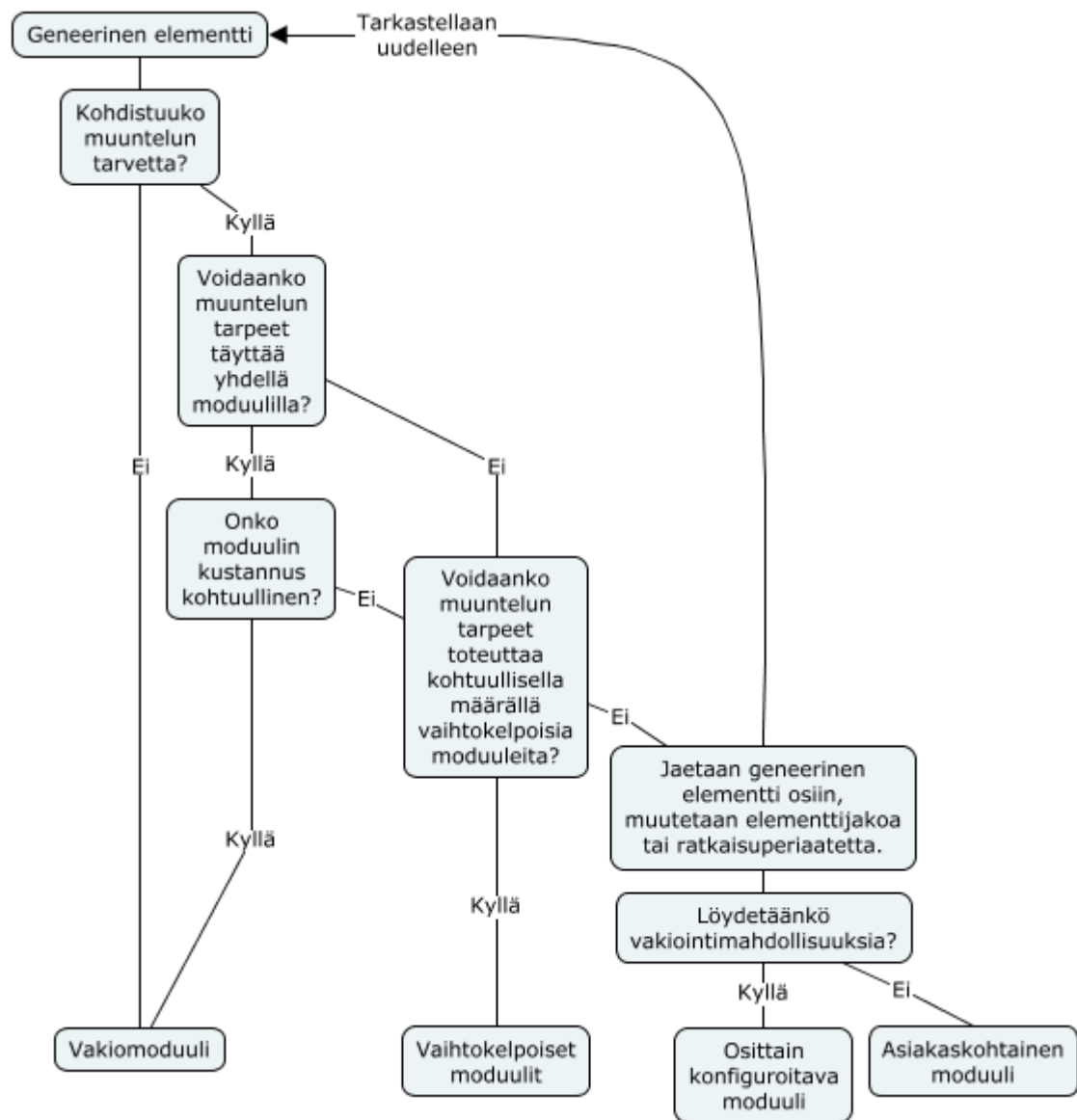
Tuotekehityksessä tuleekin käyttää entistä enemmän aikaa tuotekehityksen suunnitteluun ja pohtia järkeviä toteutustapoja, jotta kokonaisuus pysyy hallinnassa. Vaikka modula-

rinen tuoterakenne onkin kirjallisuuden perusteella hyväksi todettu monesta näkökulmasta, niin kaikkea ei kannata alkaa moduloimaan. Moduloiminen ei itsessään tuo hyötyjä, vaan ne saavutetaan järkevällä modulaarisella rakenteella. Moduloimiselle tulee olla aina perusteet.

5.3 Moduulit

Yrityksen strategia ja tuotteiden tiekartta luovat syötteet moduulin suunnittelulle. Moduulille tulee olla aina oikea tarve. Moduulit luodaan aina tiettyä tarkoitusta varten eli ne täyttävät aina jonkin asiakasvaatimuksen. Tuotteen arkkitehtuuri määrittelee, mitä mihinkin moduuliin sisältyy. Moduulin suunnittelua aloittaessa tulee olla selvillä, mitä moduuli sisältää ja mitä sen tulee toteuttaa. Moduulille asetetut rajoitukset riippuvat siitä, ollaanko luomassa uutta moduulia olemassa olevaan tuoteperheeseen vai kokonaan uuteen tuoteperheeseen. Olemassa olevalla tuoteperheellä on jokaiselle moduulille omat vaatimuksensa rajapintojen ja tilavarauksen suhteen. Uuden moduulin tulee olla yhteensopiva tuoteperheeseen halutuilta osin.

Tuoterakenne on jaettu rakenteen tai toimintojen perusteella geneerisiin elementteihin, jotka ovat teknisesti toteuttavissa olevia kokonaisuuksia ja ne voivat olla kokoonpanoja, osajärjestelmä tai yksittäisiä osia. Geneeristen elementtien pohjalta muodostetaan erityyppiä moduuleja ja päättelyketju on esitettyinä kuvassa 30.



Kuva 30. Moduulien muodostuminen geneerisistä elementeistä.

Modulaarisessa rakenteessa pyritään mahdollisimman vakioituihin ratkaisuihin niin moduuleissa kuin rajapinnoissakin. Erilaisiin asiakastarpeiden aiheuttamiin muuntelun tarpeisiin tuotteessa pyritään vastaamaan erilaisilla moduuleilla, joita on neljää tyyppiä. Vakiomoduuli sisältyy kaikkiin tuoteperheen tuotteisiin, eikä sille ole vaihtoehtoisia ratkaisuja. Vakiomoduuli on aina tavoitteena, sillä vakiorakenteesta saadaan suurin mittakaavaetu kaikessa tekemisessä. Vakiomoduulilla on myös mahdollista vastata muuntelun tarpeeseen, mutta vakiomoduulin kustannukset saattavat nousta huomattavasti. Toinen vaihtoehto vastata geneerisen elementin muuntelun tarpeeseen ovat vaihtokelpoiset moduulit, jotka ovat vakioituja vaihtoehtoisia ratkaisuja erilaisiin muunteluntarpeisiin. Mikäli muunteluntarpeeseen ei voida vastata kohtalaisella määrällä vaihtokelpoisia moduuleja, on vaihtoehtona osittain konfiguroitavat moduulit. Nämä koostuvat vakio-osiosta ja muuntelun tarpeen toteuttavasta konfiguroitavasta osiosta. Ne vaativat asiakaskohtaista

suunnittelua, mutta sisältävät osittain valmiita ratkaisuja ja sopivat tuotteen rajapintoihin, jolloin muuntelun tarve pysyy moduulin sisällä. Viimeisenä vaihtoehtona muuntelun tarpeen toteuttamiseen on asiakaskohtainen moduuli, joka räätälöidään muuntelun tarpeiden mukaan. Harvinainen tarve usein ajaa asiakaskohtaiseen ratkaisuun, jonka vaikutukset saattavat ylittää rajapinnat, jolloin ei ole kannattavaa suunnitella modulaariseen tuoterakenteeseen sopivaa ratkaisua. Osittain konfiguroitavat tai asiakaskohtaiset moduulit eivät ole tavoiteltuja modulaarisuuden näkökulmasta, sillä niillä ei saavuteta vakioinnin etuja.

Tällä hetkellä osa Metson tuotteista omaa rakenteen, jossa on tuote tuotteen sisällä. Esimerkiksi seuloihin on valittavissa useita eri vaihtokelpoisia seulontamedioita ja moottorimoduuleihin on valittavissa useita erilaisia optioita. Moottorimoduulin optiot ovat olleet ongelmallisia, sillä niiden konfiguraatiosäännöt eivät ole olleet ajan tasalla tai myynti ei ole noudattanut niitä. Moottorimoduulin optiot tulevat hyvin pieneen tilaan ja ne ovat usein myös toisiaan poissulkevia, joten määrittelemättömien optioyhdistelmien sovitusta on aiheuttanut huomattavaa vaivaa. Moottorimoduulin optio-ongelmasta on mahdollista päästä eroon, kunhan optioiden konfiguraatiosäännöt määritellään oikein ja niitä noudatetaan.

Moduulien suunnittelua varten tulee olla tiedossa, mitkä vaatimukset moduulin tulee täyttää. Rajapinnan ominaisuudet antavat raja-arvot moduulille, jotta tuotteen muu rakenne pysyy muuttumattomana. Mikäli uusi moduuli vaatisi muutoksia myös muulta tuoterakenteelta, moduulin ja tuoterakenteen päivittäminen on huomattavasti suurempi päätös, eikä siihen pitäisi ryhtyä kevyin perustein.

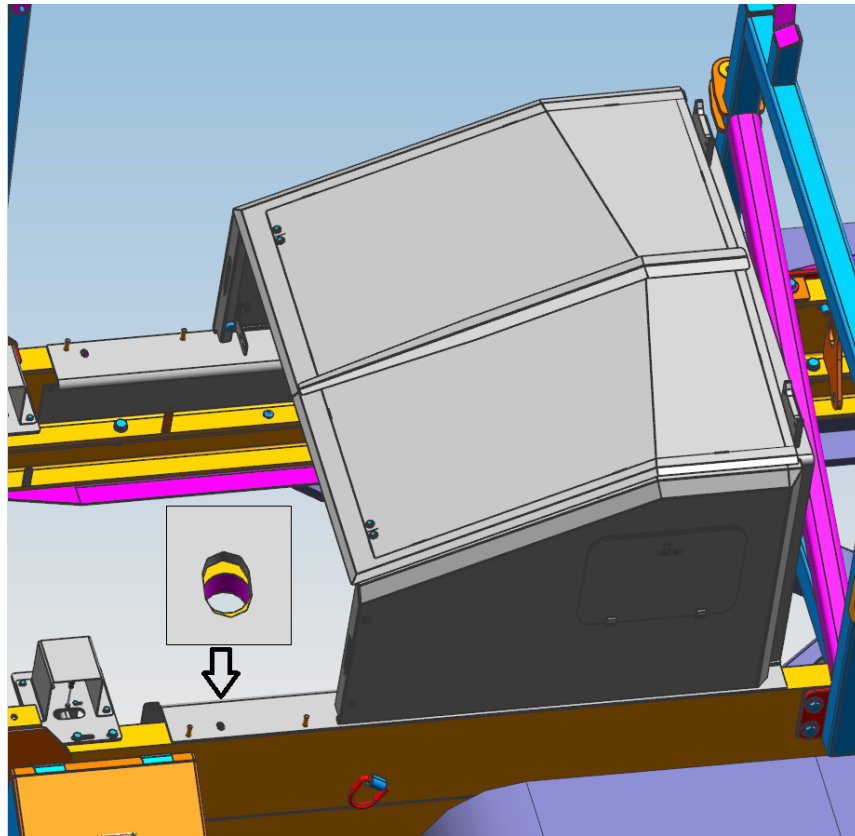
Moduuleihin kohdistuu ajoittain muutospainetta, joka voi liittyä muuttuviin asiakastarpeisiin, virheiden korjaukseen tai tuotekehitykseen. Modulaarisella rakenteella pyritään hallitsemaan muutoksen vaikutuksia ja pitämään ne moduulikohtaisina. Muutoksien vaikutuksia on tärkeää ymmärtää, sillä ne eivät ainoastaan vaikuta tuotteisiin, vaan myös muihin yrityksen toimintoihin.

5.4 Yleiset suunnitteluperiaatteet

Yleiset suunnitteluperiaatteet on luotu herättämään ajatuksia tuotteen suunnittelussa. Niiden tavoitteena on saada suunnittelija kyseenalaistamaan ratkaisuja ja miettimään, voisiko asiat tehdä paremmin. Joissain tapauksissa rakenteen parantamiseksi riittää pienten asioiden muokkaus, mutta toisinaan tarvitaan koko ratkaisuperiaatteen muutoksia. Suunnitteluohjeiden avulla tarkoituksena on saavuttaa hyvä tuotteen toiminnallisuus, mutta helpottaa asennusta sekä pienentää asennus- ja valmistuskustannuksia.

Valmistusmenetelmän kautta valittu toleranssi ei saisi olla merkittävästi tiukempi kuin laitteen toiminnallisuuden vaatima toleranssi. Laitte vaatii rakenteilta tietyn tarkkuuden, jotta se toimii suunnitellulla tavalla. Kun tämä tarkkuus toiminnallisuudelle on

täytetty, ei laitteen toiminnan kannalta ole niin suurta merkitystä kuinka tarkkoja valmistusmenetelmiä tuotteessa käytetään. Valmistusmenetelmien tarkkuuden tulee olla riittävä varmistamaan sujuvan asennuksen ja toiminnallisuuden, mutta näiden ylittämä tarkkuus aiheuttaa ainoastaan lisäkustannuksia liitokselle, eikä lisää tuotteen arvoa.



Kuva 31. Moottorimoduulin kiinnitys mobiiliseulan runkoon.

Kuvassa 31 on esitettyä moottorimoduulin kiinnitys runkoon. Kiinnitys on toteutettu neljällä läpivuuvilla ja mittaheitot on huomioitu moottorimoduulin rungon ovaaleilla rei'illä. Pitkittäissuuntaiseen mittaheittoon ei kuitenkaan ole varauduttu, vaan rungon ollessa hieman vinossa ruuvit eivät sovi paikoilleen. Tässä tilanteessa toiminnallisuus ei vaadi tiukkoja reikiä, vaan myös rungon reiät voisivat hyvin olla pitkittäissuunnassa ovaalit, jolloin moottorimoduuli sopisi huomattavasti suuremmalla todennäköisyydellä paikalleen.

Tiukkojen toleranssien tulisi sijaita pienissä osissa ja väljien toleranssien suurissa osissa. Pienten osien valmistustarkkuus on huomattavasti suurempi kuin suurten osien riippumatta valmistusmenetelmästä, mikä näkyy myös suoraan osien valmistuskustannuksissa. Hyvää valmistustarkkuutta vaativissa kohteissa tulisi pyrkiä käyttämään pienempiä osia. Suurten osien valmistustarkkuuden vaatimuksia voidaan keventää käyttämällä erillisiä asennusosia. Menetelmä lisää osien lukumäärää, mutta tekee osista edulli-

sempia valmistaa. Kahden suuren osan liittäminen tarkalla liitosmenetelmällä on valmistusteknisesti haastava kohde. Tämänlaisen liitoksen tarkkuuden vaatimuksia voidaan usein helpottaa käyttämällä ”joustavaa” liitosmenetelmää, eli käyttämällä molemmissa tai toisessa kappaleessa vapaamman paikoituksen mahdollistavaa kiinnitysosaa. Tämä voi olla esimerkiksi vapaamman paikoituksen mahdollistava reikälevy tai asennuskisko. On tapauskohtaisesti harkittava, mikä on järkevin menetelmä toteuttaa liitos.

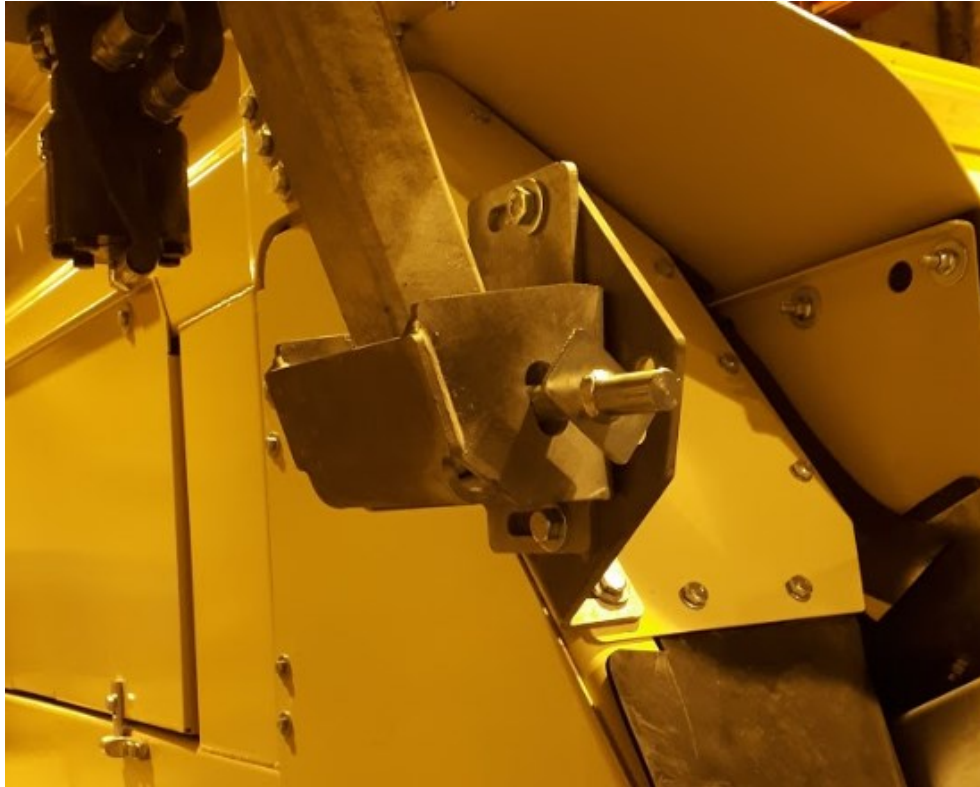
Liitos tulee toteuttaa vähimmäismäärällä tarkkuutta vaativia osia. Mitä vähemmän liitoksessa on suurta tarkkuutta vaativia osia, sitä edullisempaa se on valmistaa. Liitoksen kohdistus tulisi toteuttaa vähimmäismäärällä tarkkoja tasoja/pisteitä. Kohdistustasojen/-pisteiden määrä vaihtelee riippuen osan kiinnitysmenetelmä ja vapaista liikesuunnista. Mitä vähemmän tarvitaan toisiinsa nähden tiukassa toleranssissa olevia osia, sitä helpompaa on osien valmistus.



Kuva 32. Telojen kiinnitys mobiiliseulan runkoon.

Kuvassa 32 on esitettynä telojen kiinnitys runkoon. Telat kiinnitetään runkoon kahdella kahdeksan ruuvin liitoksella, jotka kohdistetaan liitoksen keskellä olevalla tapilla. Runkossa on kolme levyä päällekkäin, joissa kaikissa on samankokoiset reiät. Virhe levyjen reikien samankeskeytydessä aiheuttaa asennusongelmia. Mikäli liitos olisi toteutettu vähimmäismäärällä tarkkuutta vaativia osia, siinä ei olisi kolmea levyä päällekkäin, joiden reiät ovat samankokoiset. Parempi vaihtoehto olisi käyttää hieman suurempia reikiä kahdessa sisäpuolisessa levyssä, jolloin ainoastaan ulomman levyn sijainti olisi kriittinen.

Tunnista herkäät suunnat ja panosta tarkkuuteen siellä, missä sitä tarvitaan. Suunnittelijan tulee ymmärtää laitteen toiminta ja sen kannalta oleellimmat suunnat. Tarkkuus maksaa ja sitä tulee käyttää erityisesti siellä, missä se on tarpeellista toiminnallisuuden kannalta. Kaikissa paikoissa ei ole tarpeellista käyttää suurta tarkkuutta, sillä se nostaa kustannuksia ilman merkittäviä hyötyjä.



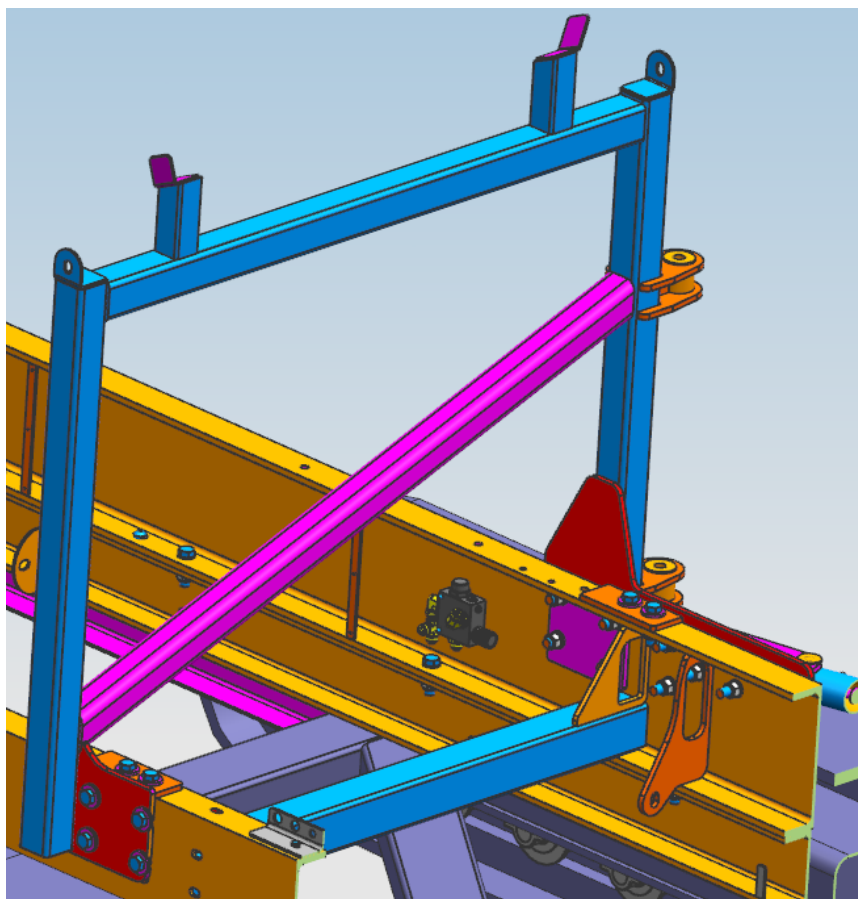
***Kuva 33.** Sivukuljettimen kuljetustuen kuppi.*

Sivukuljettimen kuljetustuen kuppi on esitettyä kuvassa 33. Sivukuljetin asetetaan kuljetusasennossa kupin pohjalle, jossa se lukitaan tapilla paikalleen. Sivukuljettimen asennon vaihtelu on huomioitu leveällä kupilla, mutta kupissa olevalla ovaalireiällä ei ole huomioitu kupin leveyttä. Mikäli herkäät suunnat olisi huomioitu tuotteen suunnittelussa, olisi havaittu kuljettimen kuljetustuen asettuvan aina kupin pohjalle ja ovaalireikä olisi tehty kupin pohjan suuntaiseksi, jolloin tapin saisi aina paikalleen. Toinen vaihtoehto olisi muokata kupin ulkolaidan kulmaa siten, että se ohjaa kuljettimen kuljetustuen reiän kohdalle, eikä mahdollista kuljetustuen sivuttaista liikettä.

Haasteellinen asennettavuus tulee sijoittaa pieniin elementteihin, missä se on helpompi suorittaa. Haastavista kokoonpanoista saattaa olla vaikeaa päästä kokonaan eroon, mutta kokoonpanojärjestykseen tai kokoonpanon sijaintiin voidaan usein vaikuttaa. Hankala kokoonpano kannattaakin tehdä irrallisena ja liittää valmis osakokoonpano muuhun rakenteeseen. Hankalatkin kokoonpanot on usein helpompia valmistaa irrallisina

kokonaisuuksina, jolloin myös työmenetelmiä voidaan kehittää helpommin. Osakokoonpanojen valmistus usein lyhentää kokonaistyöaikaa, kunhan osakokoonpanon kiinnitys on helppoa. Linjakokoonpanossa tämä menettely on erityisen hyödyllistä, sillä aikaa vieviä tehtäviä voidaan siirtää pois linjalta ja sen myötä läpimenoa saadaan nopeutettua.

Osien tarpeeton sisäkkäisyys rajoittaa tulevaisuuden laajentamismahdollisuuksia ja hankaloittaa asennusta. Osien sisäkkäisyys luo geometrisia rajoituksia sisäpuolisen osan laajentamismahdollisuuksille. Lisäksi sisäkkäisyys luo myös haasteita yhteensopivuudelle ja tilavarauksen määrittelyllä. Tämä korostuu tapauksissa, joissa osalla on rajapinta molemmilla sivuilla. Joissain tapauksissa sisäkkäisyys on rakenteen ominaisuuksien ja toiminnallisuuden kannalta paras vaihtoehto, mutta tarpeetonta sisäkkäisyyttä on syytä välttää.



Kuva 34. H-tuen kiinnitys mobiiliseulan runkoon.

Kuvassa 34 esitetty ylitekuljettimen H-tuki kiinnitetään laitteen runkoon päältä ja molemmilta sivuilta. Suurien rakenteiden toleransseissa sallitaan isoja mittaheittoja, joten toleranssien sallimissa rajoissa rungon sivun ja H-tuen väliin jää helposti välystä. Välyksen poistamiseksi joudutaan käyttämään säätölevyjä rungon ja H-tuen välissä. Ongelmalta vältyttäisiin poistamalla osien sisäkkäisyys, eli muuttamalla H-tuen rakenne vain päältä ja toiselta sivulta kiinnitettävään rakenteeseen.

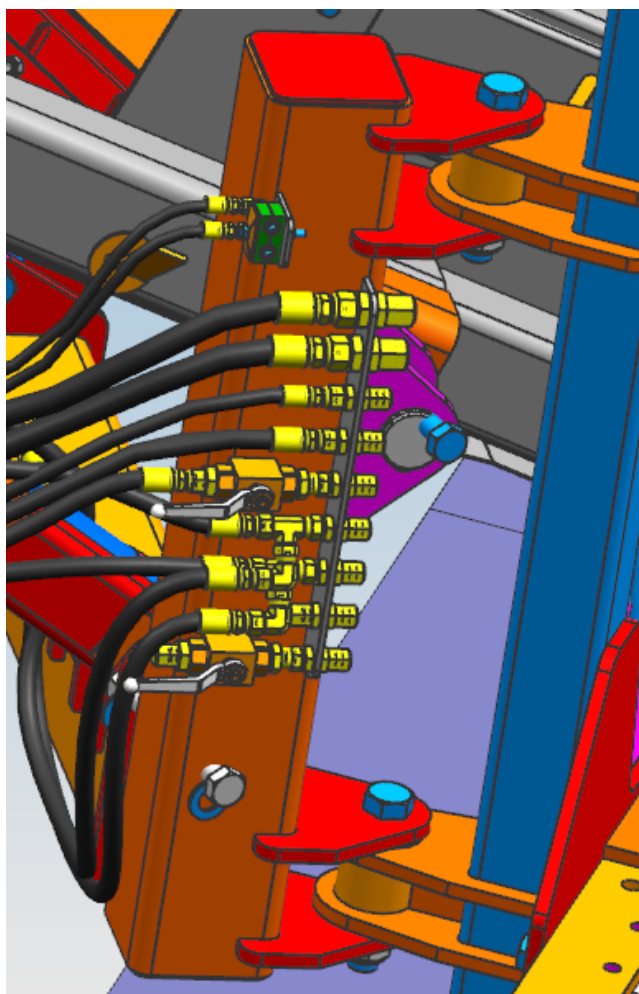
5.5 Rajapinnat

Rajapintojen käsittelyssä keskitytään mekaanisiin, hydraulisiin, sähköisiin ja materiaalin siirron rajapintoihin, sillä ne ovat kohdeyrityksen kannalta oleellisia. Rajapinnan toteutus vaikuttaa voimakkaasti moduulin tai osan kokoonpantavuuteen. Mekaaninen rajapinta määrittää osan sijainnin ja kiinnityksen muihin rakenteisiin. Rajapinnan tulee määrittellä yhdistettävien moduulien tai kokoonpanojen sijainti riittävän tarkkaan toiminnallisuuden kannalta. Lisäksi rajapinta määrittää moduulin tuennan ja voimansiirron. Moduulin tuennassa on tärkeää huomioida kriittiset suunnat toiminnallisuuden kannalta, jotta moduuli sijoittuu tuotteen rakenteessa oikein ja tuotteen toiminnallisuus säilyy.

Rajapinta tulisi suunnitella mahdollisimman monikäyttöiseksi, jotta myös tulevaisuudessa luodut moduulit on mahdollista asentaa samaan rajapintaan. Mekaanisten rajapintojen kohdalla tämä tarkoittaa riittävän lujaa liitosta, jossa on mahdollisesti huomioituna tulevaisuuden moduulivarianttien kuormitustapaukset. Hydraulikan ja sähköjen suunnittelussa tulee varautua johtojen ja letkujen lukumäärän tai koon kasvuun. Hydraulikka ja sähkö tulee saada siirrettyä moduulien toimilaitteille mekaanisten rakenteiden kautta, joten näiden letkujen ja johtojen tilavaraus on huomioitava mekaanista suunnittelua tehdessä. Materiaalin siirrosta tulee huomioida materiaalin liike ja määrä. Materiaalin siirto on dynaaminen prosessi, jossa materiaali tippuu alaspäin lastausalueelle tai se ”heitetään”. Erilaisilla moduulikohtaisilla ohjaimilla on mahdollista hallita materiaalin liikettä moduulien välillä. Aina ei kuitenkaan ole tietoa tulevaisuuden suunnitelmista, joten varautuminen tuntemattomaan ei ole rajapintojen suunnittelussa helppoa.

Rajapinnat tulee suunnitella aina vaativimman konfiguraation mukaan. Mekaanisen rajapinnan osalta tämä tarkoittaa jyvettä ja yksinkertaista suunnittelua ja mahdollista ylimitoittamista. On myös huomioitava, että pelkkä jykevä rajapinta ei riitä, jos itse moduulin rakenne ei kestä siihen kohdistuvia rasituksia. Mobiililaitteiden kohdalla keveys on tärkeä ominaisuus, vaikka laitteet tyypillisesti ovatkin raskaita. Tämän vuoksi rakenteita ei ole kannattavaa ylimitoittaa tarpeettomasti, sillä ylimääräinen paino aiheuttaa kustannuksia ja hankaloittaa laitteen kuljetusta. Rakenteiden lujuus ja hyvä asennettavuus ovat priorisoitavia asioita mekaanisessa rajapinnassa.

Sähköiset ja hydrauliset rajapinnat eivät ole sijainniltaan aivan niin tarkkoja kuin mekaaniset rajapinnat, sillä ne eivät määrittele moduulien sijainteja. Kuitenkin sähköisten ja hydraulisten rajapintojen tulisi sijaita lähellä mekaanista rajapintaa, jolloin rajapinnan ja tilavarauksen määrittely helpottuu. Sähköä ja hydraulikkaa voidaan siirtää helposti letkua tai johtoa pitkin, joten ne kannattaa sijoittaa asennuksen helppouden kannalta edullisesti. Yleisesti hydraulisessa rajapinnassa on suositeltavaa käyttää tasomaista tuentaa, johon hydraulikkaletkut tai -putket saadaan kiinnitettyä. Tällöin rajapinta on helppo hahmottaa molemmista suunnista ja moduulien suunnittelu erillisinä kokonaisuuksina on helppoa. Kuvassa 35 on esimerkki hyvästä hydraulisesta rajapinnasta.



Kuva 35. *Esimerkki hyvästä tasomaisesta hydraulikan rajapinnasta, johon letkut on helppo kiinnittää molemmista suunnista.*

Rajapinnan liitokset tulisi olla hyvin esillä, jotta kokoonpano on mahdollisimman helppoa. Rajapinnan sijoitukseen liittyy myös ympäristö ja joissain tapauksissa rajapinta ja hydraulikkaletkut tai sähköjohdot kannattaa sijoittaa suojaiseen sijaintiin ympäristön rasituksen vuoksi. Tällaisissa tilanteissa joudutaan usein tinkimään kokoonpantavuudesta. Hydraulisen ja sähköisen rajapinnan sijoituksessa tulee huomioida myös letkujen/putkien/johtojen reititykset moduulien välillä. Etenkin toistensa suhteen liikkuvien moduulien välillä on tärkeää sijoittaa rajapinta siten, että letkut ja johdot pääsevät taipumaan liikkeen mukana sulavasti.

Kokemusten mukaan linjakokoonpanon läpimenoaikaan vaikuttaa voimakkaasti hydraulikan asennus (Leikko, K. Haastattelu 12.9.2018). Hydraulikkaletkujen ja putkien suunnittelu jää usein suunnitteluprojektin loppuvaiheeseen, jolloin mekaaniset osat ovat jo suunniteltu. Tämä luo haasteita letkujen ja putkien reitittämiselle, mikä vaikuttaa hydraulikan asennusaikaan. Yksi vaihtoehto hydraulikkaletkujen ja sähköjohtojen reititysten parantamiseksi olisi selkeiden reittien ja kanavien määrittely. Näille reiteille olisi

mahdollista luoda selkeä tilavaraus, jossa voisi myös huomioida mahdolliset tulevaisuuden tarpeet. Hydrauliiikan huomioiminen riittävän aikaisessa vaiheessa mekaniikkasuunnittelussa mahdollistaa paremman reitityksen hydraulikalle, mikä laskee hydrauliiikan asennusaikaa, helpottaa huoltoa ja mahdollisesti myös parantaa hydrauliiikan toimintavarmuutta.

Materiaalin siirto luo tiettyjä vaatimuksia tuotteiden toiminnallisuudelle. Materiaalin siirto moduulien välillä tulee tapahtua ilman merkittäviä ohivuotoja, joten rajapintojen on oltava sen suhteen tiiviitä. Moduulien väliset rajapinnat eivät aina ole aivan liikkumattomia ja moduulien välillä esiintyy pientä liikettä. Tämä liike aiheuttaa haasteita materiaalin siirtoon ja siihen pyritään vastaamaan joustavilla kumisilla ohjureilla. Nämä kumiset ohjurit aiheuttavat haasteita rajapinnan ja tilavaraukseen hallintaan ja dokumentointiin, sillä niiden asento muuttuu asennuksessa.

Rajapinnoissa on pyrittävä mahdollisimman mittatarkkoihin rakenteisiin, jotta nämä muuttumattomat liitospinnat ovat mahdollisimman toimivia strategisesti tärkeissä liitoksissa. Selkeyden ja mittatarkkuuden kannalta usein on järkevää hyödyntää tasomaisia kiinnityksiä, jotka sijaitsevat samalla linjalla. Rajapinnat ovat hyvin tärkeä osa modulaarista rakennetta ja ne mahdollistavat moduulien yhteensopivuuden ja vaihtokelpoisuuden. Rajapintojen muutoksia tulee pyrkiä välttämään, sillä niihin tehdyt muutokset vaikuttavat myös muihin moduuleihin. Mitä enemmän vaihtokelpoisia moduuleja kiinnittyy kyseiseen rajapintaan, sitä suurempi vaikutus rajapinnan muokkauksella on. Prototyypivaiheessa rajapintojen kehitykseen kannattaa panostaa, jotta rajapinnoista saataisiin kerralla mahdollisimman toimivat. Rajapintoihin kohdistuvat muutokset sarjatuotannon aloituksen jälkeen aiheuttavat enemmän ongelmia. Tämä estää moduulien vaihtokelpoisuuden, mikä vaikeuttaa tuotteen jälkimarkkinointia.

Avak (2006, s. 788–789) suosittelee rajapintojen hallintaan strategiaa, jossa rajapintoihin ei saa tehdä muutoksia, vaikka ne eivät aiheuttaisi uudelleensuunnittelua muissa moduuleissa. Muutoksien tekeminen rajapinnoissa vaikuttaa niiden hallintaa. Etenkin kun rajapinnoilla on kaksi puolta ja molempia tulee pystyä hallitsemaan. Pitkällä aikavälillä muutokset rajapinnoissa saattavat aiheuttaa sekaannuksia ja ongelmia, joten on suositeltavaa pitäytyä muuttumattomissa rajapinnoissa moduulien vaihtokelpoisuuden säilyttämiseksi.

Ulrich & Eppingerin (2012, s. 196) mukaan moduulien välisissä rajapinnoissa ilmenee olennaista vuorovaikutusta ja oheisvuorovaikutusta. Olennainen vuorovaikutus on oletettua kaavamaisista toimintaa, joka on suunniteltua ja hyvin ymmärrettyä. Oheisvuorovaikutus on sen sijaan fyysisten elementtien toiminnasta tai sijoituksesta aiheutuvaa, ei niin helposti tunnistettavaa vaikutusta. Oheisvuorovaikutus voi olla esimerkiksi värähtelyä, lämpöä tai ääntä. Oheisvuorovaikutus saattaa häiritä laitteen toimintaa, mikäli sitä ei osata huomioida riittävän hyvin. Rajapintojen suunnittelu on usein kohtalaisen suoraviivaista

olennaisten vuorovaikutusten kannalta, mutta oheisvuorovaikutusten havainnointi on haastavampaa. Oheisvuorovaikutuksien tutkiminen rajapintojen suunnittelussa onkin tärkeää, jotta rajapinnat saadaan käyttäytymään halutulla tavalla.

Yleisen hyödynnettävyyden kannalta on tärkeää määritellä rajapintojen ominaisuudet. Eri tyyppisillä rajapinnoilla on omat valmiutensa ja ne pitää tiedostaa ja dokumentoida. Rajapintojen hyödyntäminen tulevaisuudessa uusia tarpeita varten helpottuu huomattavasti, kun rajapinnan kyvykkyys on tiedossa. Rajapinnan dokumentointi sisältää kuvauksen mekaanisesta, hydraulisesta, sähköisestä ja materiaalin siirron rajapinnasta. Rajapinnan dokumentoinnissa määritellään mitä kuuluu kuhunkin rajapinnan osapuoleen ja mikä on rajapinnan kyvykkyys. Mitä yksinkertaisemmaksi ja selkeämmäksi rajapinta saadaan, sitä helpompaa on sen dokumentointi ja hyödyntäminen jatkossa. Rajapintojen dokumentoitavat asiat ovat esitettynä taulukossa 2. Rajapintojen dokumentointia käsitellään lisää kappaleessa 5.10.

Taulukko 2. Dokumentoitavat asiat rajapintatyypeittäin.

Rajapinta	Dokumentoitavat asiat
Mekaniikka	Sijainti, muoto, liitosmenetelmä, tuenta ja kantavuus
Hydrauliikka	Sijainti ja liitäntöjen ominaisuudet (määrä, koko, paine, virtaus, suunta, ym.)
Sähkö	Sijainti ja liitäntöjen ominaisuudet (määrä, malli, jännite, ym.)
Materiaalin siirto	Sijainti, kapasiteetti ja kinemaattiset ominaisuudet

5.6 Tilavaraus

Tilavaraus määritellään moduulikohtaisesti ja sen avulla on tarkoitus välttää moduulien välisiä yhteentörmäyksiä ja yhteensopivuusongelmia. Tilavarauksella on erityisen tärkeä rooli konfiguroitavien moduulien kohdalla. Moduulien konfiguroitavuus aiheuttaa eri suuruisia tilan tarpeita moduuleille ja kaikkien näiden moduulivarianttien yhteensopivuus tulisi taata.

Moduulin luonteesta riippuen tarpeet moduulin kehittämiseksi ja muuntelulle vaihtelevat. Mitä enemmän moduulissa on nopeasti kehittyvää teknologiaa tai sääntelyä, sitä useammin kehitykseen pitää reagoida. Esimerkiksi moottorimoduulissa tapahtuu paljon kehitystä ja muuntelua uusien päästövaatimusten vuoksi. Tilaongelmien välttämiseksi tämänkaltaisten moduulien tilavarauksen tulisi olla riittävän suuri. Etenkin moottorimoduuleissa on paljon erilaisia lisälaitteita ja optioita, jotka aiheuttavat muuntelua moduulin sisällä ja niiden yhteensovittaminen tulevaisuuden vaatimusten kanssa on haastavaa, mikäli tilaa jo valmiiksi hyvin rajallinen määrä.

Holmqvist (2004, Pakkanen 2015, s. 58, s. 207 mukaan) suosittelee määrittelemään moduulivarianteille omat muutoksenpysäytysvyöhykkeet, joita ne eivät saa ylittää. Tämä ehdotus on erityisen hyödyllinen ympäristössä, jossa tila on kriittinen suunnittelukriteeri. Tämänlaiset säännöt antavat suunnittelijalle selvät säännöt häiriöiden välttämiseksi muiden moduulien kanssa. Joissain tapauksissa tämänlainen menettely saattaa jättää käyttämättömäksi tilaa moduulien väliin. Tilavarauksien tiukkuuksia tuleekin analysoida tapauskohtaisesti, jotta sopiva ratkaisu löydetään.

Tilavarausta määrittäessä tulee huomioida itse moduulin viemän tilan lisäksi ympäristö. Moduulien välille on suositeltavaa jättää riittävä tila, jotta valmistusepätarvkeuden aiheuttamat moduulien siirtymät eivät aiheuta ongelmia. Etenkin liikkuvien osien läheisyyteen on syytä jättää riittävästi tilaa, jotta vaihtelevissa käyttötilanteissa ei aiheudu ongelmia.

Tilavarauksen määrittelyssä on huomioitava moduulin toiminta ja sen liikkeet. Mobiili-seuloissa on useita suuren liikeradan omaavia moduuleja, joiden vaatima tila eri käyttötilanteissa on tärkeää huomioida. Nämä liikkuvat moduulit eivät saa sulkea mitään toiminnallisuuden kannalta oleellista tilaa missään käyttötilanteessa. Tässä tulee huomioida erilaiset käyttö-, huolto- ja erikoistilanteet. Vikatilanteissa on olennaista päästä käsiksi laitteen hallintalaitteisiin, joten niiden sulkemista moduulin liikkeellä on vältettävä. Moduuleissa esiintyy myös vapaasti liikkuvia osia, kuten kuljettimien hihnat, joiden sijainti saattaa muuttua selvästi käyttöasennon ja kuljetusasennon välillä. On tärkeää huomioida tämänlaisten vapaiden osien liikkeet niiden takertumisten ja jumiutumisten estämiseksi.

5.7 DFMA-menetelmät

DFMA tulee huomioida kaikessa suunnittelussa. DFMA-menetelmällä pyritään tekemään tuotteista mahdollisimman helposti valmistettavia ja kokoonpantavia. Menetelmän kaikkia näkökulmia ei voi suoraan soveltaa raskaaseen teollisuuteen, mutta ne ovat monelta osin hyödynnettävissä.

Osien valmistuksessa tulee huomioida DFMA-menetelmät ja hyödyntää niiltä osin, kun raskaassa teollisuudessa on järkevää. Suunnittelijalla tulee olla tiedossa menetelmien takana oleva ideologia ja ymmärtää niiden tuomat edut tai haitat, jotta näitä menetelmiä pystytään hyödyntämään tehokkaasti. Osalla DFMA-menetelmistä on myös negatiivisia vaikutuksia, eikä niitä tule hyödyntää pohtimatta vaikutuksia. Modulaarinen tuoterakenne luo omia vaatimuksia tuotteiden valmistettavuuteen, eikä DFMA-näkökulmia pidä nostaa modulaarisen rakenteen edelle. Tuotteen suunnittelu onkin tasapainoilua erilaisten valintojen ja kompromissien äärellä.

Metson tuotteiden asennettavuuden kannalta tärkeänä voidaan pitää helppoa luoksepäästävyyttä ja osien yhteensopivuutta. Lisäksi liitosmenetelmään ja asennussuuntaan tulee kiinnittää huomiota. Ensimmäinen ajatus ratkaisusta ei ole välttämättä aina kokonaisuuden kannalta paras vaihtoehto ja eri ratkaisujen vaikutuksia tulisikin pohtia ennen toteutuspäätöksen tekoa. DFMA:n pääsääntöihin kuuluva osien lukumäärän vähennys ei kyseisissä laitteissa ole kannattavaa, sillä se usein ajaa monimutkaisiin ratkaisuihin valmistettavuuden kannalta, mikä nostaa kustannuksia ja luo osien valmistustarkkuudelle suuria vaatimuksia.

Raskaassa teollisuudessa osien käsiteltävyys on hyvin erilaista kuin kuluttajatuotteiden valmistuksessa. Raskaassa teollisuudessa monet kappaleet ovat suuria ja raskaita ja niiden siirtelyssä ja asennuksessa joudutaan käyttämään apuvälineitä. Osien ja kokoonpanojen asennusta suunnitellessa tulee harkita, asennetaanko ne käsin vai apuvälinein. Käsin asennettavat osakokoonpanot eivät saa olla liian suuria tai raskaita, jotta ne pystytään asentamaan helposti. Osien käsiteltävyyttä tulee myös pohtia, sillä esimerkiksi raskaiden särmäämättömien levyjen käsittely on hankalaa. Apuvälinein asennettavien kokoonpanojen kohdalla tulee huomioida nostomahdollisuudet. Nostoa voidaan helpottaa kiinteillä nostokohdilla tai irrotettavilla nostolenkeillä. Osakokoonpanon asento asennuksessa tulee myös huomioida, sillä se voi olla erilainen kuin kokoonpanon normaali kuljetus tai varastointiasento.

Metsolla on jouduttu maalaamaan tuotteita uudelleen kokoonpanon jälkeen toimittajien huonosta laadusta tai kuljetusvaurioista johtuen. Osakokoonpanoja ja moduuleja kuljetetaan pääsääntöisesti rekoilla ja nostot suoritetaan trukeilla. Tuotteen kokoonpanovaiheissa käytetään useimmiten nosturia. Trukkinostoja maalatuille kappaleilla tulee useampia kuin nosturinostoja, joten niiden huomioiminen on tärkeää. Suunnittelussa tulee huomioida osien ja kokoonpanojen nostettavuus kaikissa eri jalostusasteen vaiheissa. Osien ja kokoonpanojen kolhiintuminen kuljetuksissa ja nostoissa aiheuttaa usein ylimääräistä räsistystä ja ongelmia loppukokoonpanossa. Nostoja varten kappaleeseen tulee merkitä nostokohdat ja ohjeistaa näiden kohtien suojaus siten, että tuote säilyy nostoissa vahingoittumattomana.

Tuotteiden purettavuus ja huollettavuus vaativat huomioita suunnittelussa. Tuotteiden elinkaari on pitkä ja raskaiden käyttöolosuhteiden vuoksi niitä joudutaan huoltamaan ajoittain. Merkittävimpien huoltotoimenpiteiden ja kulutusosien vaihdon suorittamiseen tulee kiinnittää huomiota tuotteen suunnitteluvaiheessa. Tuotteen hyvää huollettavuutta voidaan pitää selvänä lisäarvona asiakkaalle. Huoltotoimenpiteiden huomioiminen voi tapahtua esimerkiksi sijoittamalla kriittiset komponentit helposti saataville tai sijoittamalla ne erillisiin moduuleihin, jotka ovat helposti vaihdettavissa.

Virheiden mahdollisuus tuotteiden kasauksessa ja käytössä tulisi minimoida. Virheiden ehkäisymenetelmän tarkoituksen on suunnitella osat ja niiden käyttäminen siten, että virheitä ei synny tai niistä ei aiheudu negatiivisia vaikutuksia (Grout 2007, s. 1). Groutin virheiden ehkäisymenetelmä pohjautuu Shingon (1986) luomaan poka-yoke-menetelmään. Näiden periaatteiden mukaan tuotteet pitäisi suunnitella siten, että osien asennus on mahdollisimman helppoa ja selkeää suorittaa. Lisäksi rakenteiden tulisi olla sellaisia, ettei niitä voida kasata väärin. Virheellisen kokoonpanon riski on suuri etenkin sähköjen ja hydrauliiikan asennuksessa, mikäli rajapinnoissa on useita samankokoisia tai -tyyppisiä liittimiä. Asennuksen helpottamiseksi liittimet ja niiden vastineet tulee merkata yksiselitteisesti tai käyttää liitännöitä, joita ei voi asentaa väärin. Hyvällä suunnittelulla voidaan parantaa tuotteen kokoonpantavuutta huomattavasti. Kuitenkaan kaikkea ei voida ratkaista suunnittelussa ja loput täytyy hoitaa selkeillä kokoonpano-ohjeilla. Yksiselitteisten ja riittävän selkeiden kokoonpano-ohjeiden merkitys on suuri tuotteen laadun kannalta.

5.8 Toleranssien hallinta

Tuotteen valmistettavuuden ja osien yhteensopivuuden mahdollistamiseksi on tärkeää ymmärtää eri valmistusmenetelmien ominaisuuksia ja rajoitteita. Suunnittelija näkee tuotteet 3d-malleissa, joissa kokoonpanot ja osat on helppo saada sopimaan kohdalleen. Valmistettujen osien yhteensovittaminen eroaa kuitenkin huomattavasti tästä ja onkin tärkeää huomioida suunnittelussa lopputuotteen valmistettavuuden tarkkuus. Esimerkiksi pienetkin kulmavirheet hitsauksessa saattavat saada aikaan suuria siirtymiä lopputuotteessa. Mikäli näitä ei pystytä huomioimaan riittävän hyvin suunnitteluvaiheessa, ovat törmäykset kokoonpanossa hyvinkin todennäköisiä.

Eri valmistusmenetelmillä on kullakin ominainen tarkkuusluokkansa. Koneistuksella päästään erittäin tarkkoihin toleransseihin. Monimutkaisempien levyosien valmistuksessa hitsaus ja särmäys ovat suunnilleen samaa tarkkuusluokkaa. Ilman särmäystä tapahtuvan levynleikkuun tarkkuus on suurempi kuin hitsatun rakenteen, joten usein tasomaiset kapaleet kannattaa tehdä yhdestä levyleikkeestä.

Valmistusmenetelmä itsessään määrittelee oman tarkkuusluokkansa tietyllä välillä. Valmistusmenetelmän tarkkuutta pystytään tarvittaessa parantamaan, mutta siitä aiheutuu lisää kustannuksia. Paremman tarkkuusluokan hyödyt voidaan myös kadottaa huonolla toteutuksella, jos siihen liittyy alemman tarkkuusluokan valmistusmenetelmiä.

Suunnitteluratkaisut eivät välttämättä ole olosuhteiden pakosta optimaalisia, eikä siihen ole välttämättä aina tarvettakaan. Näihin epätarkkuuksiin pystytään kuitenkin mukautumaan tekemällä hieman joustavampia ratkaisuja, kuten käyttämällä soikeita reikiä, säätölevyjä tai asennuskiskoja. Ylimääräisten osien lisääminen kokoonpanoon ei kuitenkaan ole kovin toivottua, mutta joskus se on kokonaisuuden kannalta edullinen ratkaisu.

Hitsattujen rakenteiden toleranssit ovat kohtalaisen suuria ja aiheuttavat herkästi ongelmia, mikäli niitä ei huomioida riittävästi. Erityisesti erilaisten akselointien toteuttaminen vaatii mitta- ja muototarkkuutta rakenteelta. Näissä rakenteissa ei mieluusti saisi olla suuria välyksiä, jotta ne toimivat oikein ja tarkasti. Monessa tilanteessa erilaisilla paikoitus työkaluilla voitaisiin helpottaa tilannetta ja parantaa hitsattujen rakeiden mitta- ja muototarkkuutta. Paikoitus työkalujen ja jigien hyödyntäminen usein helpottaa hitsauskokoonpanojen valmistusta, mutta näiden apuvälineiden suunnittelu ja valmistus aiheuttaa kustannuksia toimittajalle. Pienissä erissä ja lyhytjänteisessä toiminnassa niiden tekeminen ei välttämättä ole toimittajalle kannattavaa, jolloin myös tuotteen laatu kärsii. Rakenteiden laadun parantamiseksi olisi hyödyllistä niin tilaajan kuin toimittajan kannalta tehdä pitkäjänteistä yhteistyötä, jolloin toimittaja pystyy kehittämään prosessejaan paremman laadun varmistamiseksi (Lawson et al. 2015). Näin hitsattujen rakenteiden laatu paranee ja kustannukset pysyvät kohtuullisina.

Piirustuksissa on erityisen tärkeää huomioida tuotteen toiminnallisuus. Tämä korostuu erityisesti hitsauskokoonpanoissa ja särmätyissä levyrakenteissa. Hyvä rakenne voidaan pilata väärin tehdyllä piirustuksella, joka siirtää valmistusepä tarkkuudet toiminnallisuuden kannalta kriittisiin paikkoihin. Piirustusta tehdessä tulee ensimmäisenä tunnistaa toiminnallisuuden kannalta oleelliset kohteet ja mitoittaa nämä vaatimusten mukaan. On tärkeää ymmärtää, miten piirustuksen mitoituksen valinnat vaikuttavat tuotteen valmistukseen ja pyrkiä eliminoimaan valmistusepä tarkkuudesta aiheutuvat ongelmat oikealla mitoitus tekniikalla.

5.9 Moduulien dokumentointi

Moduulien dokumentointi on tärkeä osa kokonaisuutta, sillä se helpottaa niiden ymmärrystä ja käyttöä. Suositeltava menetelmä moduulien dokumentointiin on Avakin (2006) luoma moduulilomake. Moduulilomake antaa käyttäjälle nopean kuvauksen moduulista, moduulin rajapinnoista ja moduulin konfiguraatioista. Moduulilomake on esitettyinä kuvassa 36.

Module Sheet – Power Supply

Module Characterization


Version 1.0
Valid: January 1, 2006 -
Relevant documents: - [power.supply.spec.pdf](#)
- [power.supply.ass.pdf](#)

Variants and options:

Power-Spec				
↓				
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Std</td> <td>Custom</td> <td>Custom Top</td> <td>Standard</td> </tr> </table>	Std	Custom	Custom Top	Standard
Std	Custom	Custom Top	Standard	

Usage list: - Standard version used in PowerSup3
- Component cooling element used in

Envisaged changes: [power.roadmap.pdf](#)



Module Interfaces

Interface row:

A	B	C	Power Supply	E	F	G	H
G	M	M	E ¹	E	B	M ²	S

G: Geometry E: Energy
S: Signal M: Material

Interface description: - E¹: [interface.spec.pdf](#)

Module Configuration

Restrictions: - Standard version only to be combined with platform 24.1

Kuva 36. Moduulilomakkeessa on kuvattuna moduulin perustiedot. (Avak 2006, s. 787)

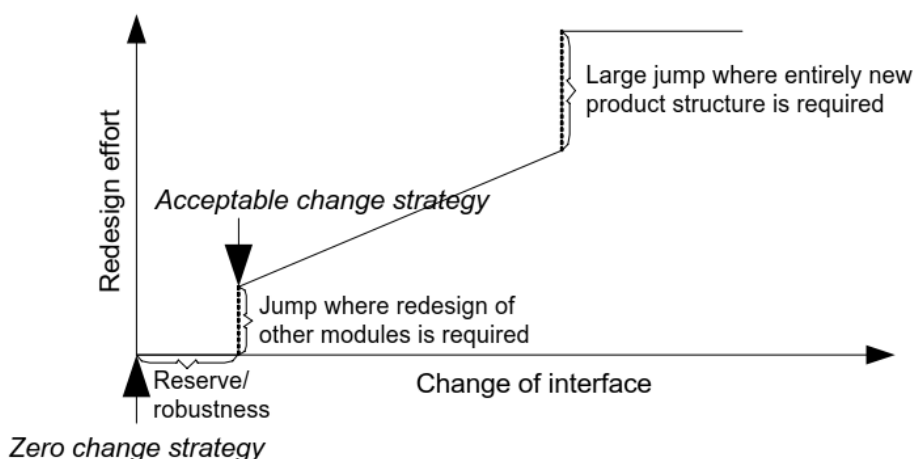
Moduulilomakkeessa kuvaillaan moduuli ja siihen linkitetään tarkempia tietoja moduulin ominaisuuksista, kuten teknisiä dokumentteja ja piirustuksia. Myös mahdolliset moduulivariantit sekä moduulin käyttökohteet ja lopputuotteet listataan tähän dokumenttiin. Nämä tiedot helpottavat hahmottamaan moduulin muutoksien vaikutuksia lopputuotteisiin. (Avak 2006, s. 787)

Rajapinnat ovat yleensä epäselvästi määriteltyinä yrityksen erilaissa dokumenteissa, kuten piirustuksissa, teknisissä tiedoissa ja standardeissa. Tieto rajapinnoista on kyllä olemassa, mutta se ei ole usein helposti ja selkeästi saatavilla. Moduulilomakkeen tarkoitus onkin kerätä tämä tieto selkeästi yhteen paikkaan, josta tarkemmat rajapintakuvaukset on helppoa löytää. (Avak 2006, s. 788)

Tieto rajapintojen ominaisuuksista on riittämätön, ellei käyttäjä tiedä toteuttamiskelpoisia yhdistelmiä moduuleista ja varianteista. Yhteensopivuuden rajoituksilla eli konfiguraatiosäännöillä pyritään yleensä vähentämään rajapintojen vaatimuksia, jolloin kaikkien

moduulien ei välttämättä tarvitse olla yhteensopivia. Onkin tärkeää tietää, mitkä yhdistelmät ovat mahdollisia toteuttaa. Moduulilomakkeeseen dokumentoidaan konfiguraatiosäännöt käyttäen yksinkertaisia lauseita, jotta ne olisivat mahdollisimman helppoja ymmärtää. Monimutkaisten tuotteiden kohdalla vain tärkeimmät konfiguraatiosäännöt esitetään moduulilomakkeessa. Täydelliset konfiguraatiosäännöt sisältävä konfiguraattori voidaan linkittää moduulilomakkeeseen. (Avak 2006, s. 788)

Moduulilomakkeen suurin hyöty on rajapintojen turvaaminen. Mikäli moduulilomaketta hyödynnetään oikein, yhden moduulin muutokset eivät vaikuta muihin moduuleihin. Hölttä & Otto (2005, s. 472–474) ovat tunnistanee, että modulaarisen tuotteen rajapinnoilla on tietty reservi, jonka alueella muutokset rajapinnoissa eivät aiheuta muutoksia muissa moduuleissa. Tämän reservin jälkeen vaaditaan uudelleensuunnittelua ja sen kustannukset nousevat suuremman askeleen. Kuvassa 37 esitetään kuvaaja rajapinnan muutoksen vaikutuksesta uudelleensuunnitteluun.



Kuva 37. Uudelleensuunnittelun vaiva rajapinnan muutoksen funktiona. (Hölttä & Otto 2005, s. 474, Avak 2006, s. 788 mukaan)

Moduuleja käytetään usein monissa eri tuotteissa ja yksi modulaarisuuden suurimmista hyödyistä on osien ja moduulien yhteiset piirteet, jonka avulla saavutetaan mittakaavaetua monissa yrityksen toiminnoissa. Onkin tärkeää hallita ja suojata näiden moduulien yhteneväisyys, jotta modulaarisuudesta saadaan tavoiteltua hyötyä. Modulaarisuuden hyödyt tulevat usein esiin vasta pidemmällä aikavälillä, joten yhteisten piirteiden hyödyntäminen tulee suojata. Moduulilomake auttaa turvaamaan yhteneväisyyden hallinnan. (Avak 2006, s. 789)

Avakin (2006, s. 790) mukaan moduulilomaketta voidaan muunnella yrityksen tarpeiden mukaan, eikä ole järkevää käyttää sitä jäykkänä konseptina. Moduulilomake on ajatukseen helppoa omaksua ja sopivalla muuntelulla siitä voidaan tehdä yrityksen tarpeet täyt-

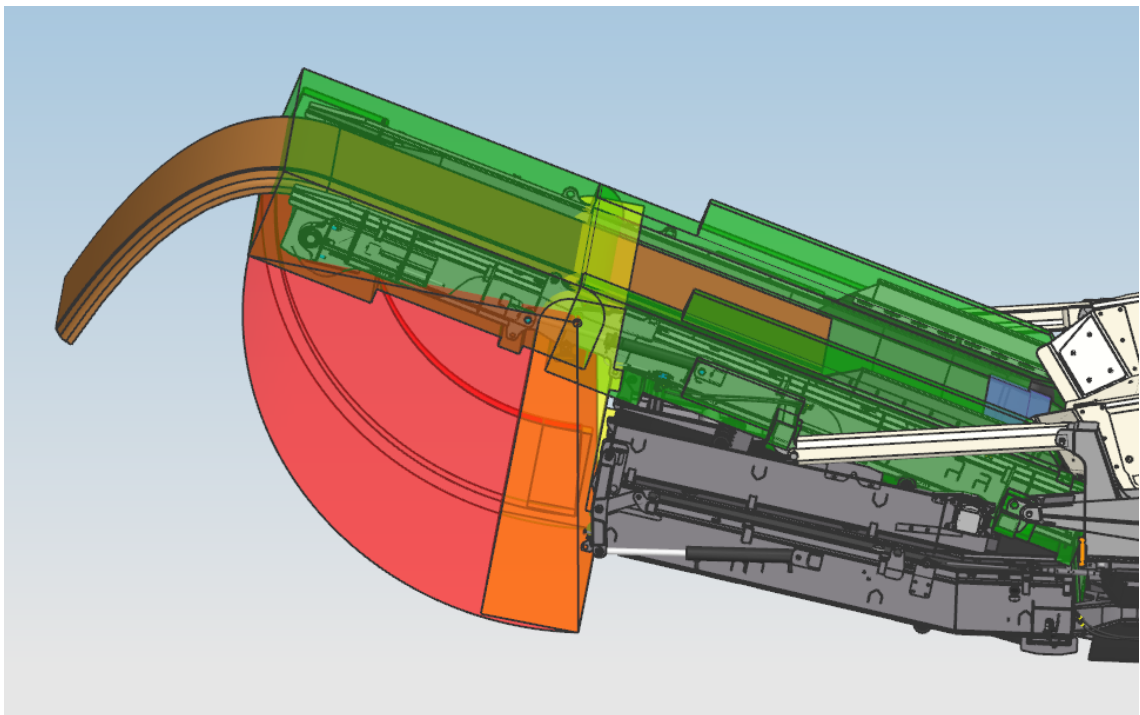
tävä dokumentaatio. Moduulilomakkeen hyödyntämistä varten on tärkeää luoda edellytykset sen tehokkaalle käytölle. Moduulilomake on oltava helposti luotavissa ja päivitettävissä, jotta tiedot moduuleista ovat ajan tasalla.

5.10 Tilavarauksen ja rajapintojen dokumentointi

Uusien moduulien suunnittelua ja ylläpitosuunnittelua varten on tärkeää dokumentoida moduulin tilavaraus ja rajapinnat. Kunnollinen dokumentointi luo selvät reunaehdot suunnittelulle ja vähentää erilaisten yhteensopivuuksien tarkastelua, sillä muutosten pyydessä tilavarauksen sisällä niiden vaikutusta ympäristöön ei tarvitse tutkia. Tämä nopeuttaa ja yksinkertaistaa suunnittelutehtäviä huomattavasti.

Kuvassa 38 on esitetty tilavarauksen ja rajapintojen 3d-dokumentaatio. Eri asennot ja toiminnallisuudet on kuvattu seuraavilla värikoodeilla:

- Vihreä: toiminta-asento
- Keltainen: kuljetus- ja varastointiasento
- Punainen: kuljettimen liikerata
- Sininen: materiaalin lastausalue
- Ruskea: materiaalin heittokaari



Kuva 38. Moduulin tilavarauksen ja rajapintojen 3d-dokumentaatio.

Moduulien rajapintojen läheiset alueet ovat usein hyvin tarkasti määriteltäviä tilavarauksen suhteen. Kuvan 38 esimerkissä seula on sijoitettu osittain sisäkkäin ylitekuljettimen

kanssa. Tämä luo tiukat rajat tilavarauksen suhteen. Kauempana rajapinnoista on usein mahdollista ja kannattavaa luoda suurempi ja väljempi tilavaraus moduulille. Väljempi tilavaraus mahdollistaa laajemmat muutokset tulevaisuudessa ilman yhteensopivuusongelmia.

Moduulien välille on myös mahdollista jättää käyttämättömiä alueita, joiden tilaa ei allokoita millekään moduulille. Esimerkiksi kuvassa 38 esitetyn ylittekuljettimen ja sen alle taittuvien sivukuljettimien väliin jää tilaa, jota ei vielä tässä vaiheessa varata millekään moduulille. Mikäli tulevaisuudessa havaitaan jonkun moduulin tarvitsevan suurempia muutoksia, voidaan tämä tila lisätä kyseisen moduulin tilavaraukseen. Kuitenkin liikkuvien moduulien tilavarausten väliin on hyvä jättää hieman tyhjää tilaa, jotta valmistus-epätarkkuuksista ja kulumisesta johtuvat siirtymät eivät aiheuta törmäyksiä.

Moduuleissa esiintyy joustavia kumiosia, jotka toimivat moduulien välisessä materiaalin siirrossa ohjureina ja tiivisteinä. Nämä kumiosat painautuvat kasaan moduulien kiinnityksessä, mikä aiheuttaa haasteita niiden tilavarauksen dokumentoinnissa. Tilavaraus on kannattavaa jakaa kahteen osaan, kovaan ja pehmeään tilavaraukseen. Kovalla tilavarauksella tarkoitetaan teräsrakenteille ja muille vastaaville varattua tilaa. Kova tilavaraus on ehdoton, eikä kahden eri moduulin kovan tilavarauksen päällekkäisyys ole hyväksyttävää. Pehmeällä tilavarauksella tarkoitetaan kumiosien ja muiden vastaavien joustavien osien tilavarausta. Kohteesta riippuen pehmeä tilavaraus voi olla päällekkäistä toisen moduulin tilavarauksen kanssa. Päällekkäisten tilavarausten hallinta on haastavaa ja pehmeän tilavarauksen dokumentointi pitää tehdä riittävällä tarkkuudella, jotta se palvelee suunnitteluorganisaatiota oikein.

Moduulien rajapintadokumentaatioon on tarkoitus hyödyntää tulevaisuudessa 3d-mallia, johon lisätään tarkempia tietoja rajapintojen ominaisuuksista. Kaikkea tietoa ei saada perinteiseen 3d-malliin esille ja lisätietoja etenkin hydraulisiin ja sähköisiin rajapintoihin tarvitaan. Nämä on tarkoitus linkittää 3d-malliin ja mahdollisesti esittää mallin yhteydessä. Osassa hydraulisten ja sähköisten rajapintojen dokumentaatiota käytetään joustavaa menetelmää. Esimerkiksi ylittekuljettimelta tulevien hydraulikkaletkujen sijainti esitetään vapaana mittana edellisestä kiinnityspisteestä. Tämä mahdollistaa liitoksen osalta vapaamman sijoittelun seulamoduuleissa. Myös yksittäisten hydraulisten ja sähköisten rajapintojen yksityiskohtaiset ominaisuudet tulee saada dokumentoitua malliin. On tärkeää tuoda tiedot helposti saataville ja ensisijaisesti yhteen paikkaan, jotta niiden löytäminen ja omaksuminen on mahdollisimman helppoa.

6. TULOKSET JA KESKUSTELU

Tässä osioissa esitellään työn tulokset tiivistetysti sekä vastataan kappaleessa 2.1 esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Lisäksi pohditaan työn tuloksien vaikutuksia.

6.1 Tulokset

Työssä luotiin suunnitteluohjeet modulaarisen tuoteperheen suunnitteluun. Suunnitteluohjeiden luomista käsitellään kappaleessa viisi ja ne ovat esitettynä liitteessä A. Suunnitteluohjeet luotiin kirjallisuusselvityksen pohjalta ja BfP:n näkökulmat huomioiden. Suunnitteluohjeet sisältävät ohjeita tuotekehityksen hallintaan ja itse suunnitteluun. Tärkeimmät asiat eri teemoihin liittyen voidaan tiivistää seuraavasti.

Arkkitehtuuri

Tuotekehityksen hallinta on tärkeässä roolissa, jotta tuoteperheen arkkitehtuuri pysyy toimivana. Arkkitehtuuri tulee säilyä samanlaisena mahdollisimman kauan, jotta modulaarisuuden hyödyt saavutetaan. Muutokset arkkitehtuuriin tulee toteuttaa vasta laajan pohdinnan jälkeen.

Moduulit

Uusien moduulien luominen tulee olla aina perusteltua ja moduulin tulee sopia tuoteperheen arkkitehtuuriin. Modulaarisessa rakenteessa tulee pyrkiä mahdollisimman vakioituihin ratkaisuihin. Moduulien tulee olla itsenäisiä ja vaihtokelpoisia.

Yleiset suunnitteluperiaatteet

Yleisten suunnitteluperiaatteiden tavoitteena on saada suunnittelija kyseenalaistamaan ratkaisuja ja miettimään, voisiko asiat tehdä paremmin. Luodut suunnitteluperiaatteet:

- Valmistusmenetelmän kautta valittu toleranssi ei saisi olla merkittävästi tiukempi kuin laitteen toiminnallisuuden vaatima toleranssi.
- Tiukkojen toleranssien tulisi sijaita pienissä osissa ja väljien toleranssien suurissa osissa.
- Liitos tulee toteuttaa vähimmäismäärällä tarkkuutta vaativia osia.
- Tunnista herkäät suunnat ja panosta tarkkuuteen siellä, missä sitä tarvitaan.
- Haasteellinen asennettavuus tulee sijoittaa pieniin elementteihin, missä se on helpompaa suorittaa.
- Osien tarpeeton sisäkkäisyys rajoittaa tulevaisuuden laajentamismahdollisuuksia ja hankaloittaa asennusta.

Rajapinnat

Vakioidut rajapinnat mahdollistavat moduulien yhteensopivuuden ja vaihtokelpoisuuden. Rajapinnat tulee suunnitella mahdollisimman monikäyttöisiksi ja vaativimman moduulikongfiguraation mukaan. Rajapintojen suunnittelussa tulee huomioida tulevaisuuden tarpeet mahdollisuuksien mukaan. Rajapintojen muutoksia tulee välttää.

Tilavaraus

Tilavaraus määritellään moduulikohtaisesti ja se mahdollistaa moduulien itsenäisyyden ja vaihtokelpoisuuden. Tilavaraus määritellään kaikille käyttö-, varastointi- ja erikoistilanteille. Tilavarausta määrittäessä tulee huomioida moduulien muuntelun tarpeen todennäköisyys.

DFMA

Tärkeintä on ymmärtää logiikka DFMA-menetelmien taustalla ja hyödyntää niitä soveltuvin osin. DFMA-menetelmät huomioivat valmistuksen, asennuksen, huollon ja nostot. Virheiden mahdollisuus tuotteiden kokoonpanossa ja käytössä tulee minimoida hyvällä suunnittelulla.

Toleranssien hallinta

Tuotteen valmistettavuuden ja osien yhteensopivuuden mahdollistamiseksi suunnittelijan tulee ymmärtää eri valmistusmenetelmien ominaisuudet ja rajoitteet. Valmistusepätkäkuuksiin voidaan mukautua käyttämällä joustavia ratkaisuja. Rakenteiden laadun ja tarkkuuden parantamiseksi on hyödyllistä tehdä pitkäjänteistä yhteistyötä toimittajien kanssa. Piirustuksia tehdessä on tärkeää huomioida laitteen toiminnallisuus.

Moduulien dokumentointi

Moduulien dokumentointi helpottaa niiden ymmärrystä ja mahdollistaa niiden tehokkaan hyödyntämisen. Moduulilomake kokoaa tärkeimmät tiedot moduulista yhteen paikkaan, johon linkitetään lisätietoja. Moduulilomake on oltava helposti luotavissa ja päivitettävissä, jotta sitä voidaan hyödyntää tehokkaasti.

Tilavarauksen ja rajapintojen dokumentointi

Tilavaraus- ja rajapintadokumentaatio luo selvät reunaehdot uusien moduulien suunnittelulle ja ylläpitosuunnittelulle. Dokumentaatio mahdollistaa suunnittelun dokumentoitujen reunaehto- ja sisällön ilman yhteensopivuuksien tarkastelua. Dokumentaatiossa hyödynnetään 3d-malleja, joihin liitetään lisätietoja rajapinnoista.

6.2 Tutkimuskysymykset

Työssä tehdyn kirjallisuusselvityksen ja suunnitteluohjeiden pohjalta voidaan vastata kappaleessa 2.1 esitettyihin tutkimuskysymyksiin.

1. Miten modulaarinen tuoterakenne vaikuttaa suunnittelijan työhön?

Modulaarinen tuoterakenne luo erilaisia reunaehtoja suunnittelulle. Suunnittelijan tulee ymmärtää, mistä modulaarisuuden hyödyt tulevat. Tuotteita ei voi suunnitella täysin suorituskyvyn kannalta optimoiden, vaan modulaarisuuden vaatimuksia tulee noudattaa. Modulaarinen arkkitehtuuri vaatii enemmän suunnittelua alkuvaiheessa, mutta moduulikohmainen suunnittelu on helpompaa. Moduulikohtaiset vaatimukset tulee vain täyttää. Tuotteiden suunnittelu saadaan jaettua pienempiin moduulikohtaisiin tehtäviin, mikä yksinkertaistaa yhteensopivuuksien tarkastelua.

2. Mitä suunnitteluohjeiden tulisi pitää sisällään, jotta moduloinnin hyödyt saavutetaan?

Moduloinnin hyötyjen saavuttamiseksi tulee suunnittelussa huomioida useita asioita. Kirjallisuuden perusteella tuotekehityksen hallintaa ja toimivaa arkkitehtuuria pidetään tärkeänä. Lisäksi yksittäisen suunnittelijan tulee ymmärtää moduulien, rajapintojen, tilavarauksen ja hyvän valmistettavuuden ominaisuudet. Näihin pyritään antamaan vastaukset suunnitteluohjeissa.

3. Miten valmistusnäkökulma on huomioitava modulaarisessa tuotekehityksessä?

Valmistusnäkökulma korostuu modulaarisissa rakenteissa, sillä modulaarisuuden myötä rajapintojen määrä tuotteessa kasvaa. Rajapinnat ovat strategisesti tärkeässä roolissa ja niiden suunnitteluun on kiinnitettävä huomioita, jotta moduulien yhteensopivuus ja vaihtokelpoisuus saadaan varmistettua. On tärkeää ymmärtää valmistusmenetelmien ominaisuudet ja tarkkuudet, jotta voidaan luoda toimivia ratkaisuja. Osioissa 5.4 esitellyt yleiset suunnitteluperiaatteet edesauttavat toimivien rakenteiden suunnittelua. Lisäksi DFMA-menetelmiä tulee hyödyntää soveltuvien osien paremman valmistettavuuden saavuttamiseksi.

4. Miten modulaarisen tuotteen hyödyt saadaan kerättyä pitkällä aikavälillä?

Modulaarisuuden hyötyjen keräämiseksi toiminnan tulee olla pitkäjänteistä. Tuotekehityksen hallintaan tulee panostaa voimakkaasti, jotta muutokset pysyvät hallittuina ja strategian mukaisina. Arkkitehtuurin muutokset ja moduulien kehitys pitää olla strategian mukaista ja perusteltua. Näiden asioiden hallinnan helpottamiseksi tulee nimetä omistajat tuoteperheelle, moduuleille ja rajapinnoille.

Modulaarisuuden dokumentointi on tärkeässä osassa pitkäjänteistä toimintaa. Moduulilomakkeella ja muilla dokumentointimenetelmillä tulee dokumentoida modulaarisuuteen liittyvät asiat, kuten arkkitehtuuri, moduulit, rajapinnat, tilavaraukset ja konfiguraatio-säännöt, jotta näiden asioiden hyödyntäminen jatkossa olisi mahdollisimman helppoa. Dokumentointi helpottaa moduulien uusiokäyttöä ja uudelleensuunnittelua.

6.3 Keskustelu ja jatkokehitys

Suunnitteluohjeisiin on kerätty kirjallisuusselvityksen perusteella modulaarisuuden kannalta tärkeänä pidettyjä asioita eri lähteiden pohjalta. Lähteitä on pyritty käsittelemään laajasti, mutta kaikkia näkökulmia ei välttämättä ole saatu huomioitua työn laajuudessa. Ohjeiden kirjallisuuspohjaa voidaan kuitenkin pitää riittävänä. Monia teollisuudessa tehtyjä ratkaisuja ja hyväksi havaittuja käytäntöjä ei ole juurikaan julkisesti esitetty, joten niistä ei saada vertailukohtaa tälle työlle. Ohjeiden teossa pyrittiin huomioimaan Metson tarpeet mahdollisimman hyvin. Tarpeita kartoitettiin yhdessä työn ohjaajan sekä palaverissa mobiiliseulojen suunnittelijoiden kanssa. Ohjeiden käyttökelpoisuuteen ei vielä voida ottaa kantaa, sillä niitä ei työn rajoissa ehditty ottamaan käyttöön. Ohjeiden hyödyllisyys tulee ajan mittaan selville, kun niitä päästään hyödyntämään käytännössä. Ohjeet eivät kuitenkaan ole täydelliset ja niitä onkin tarkoitus päivittää yrityksen toimesta uusien havaintojen myötä.

Suunnitteluohjeet käsittelevät asioita pääsääntöisesti yleisellä tasolla, mutta joistain asioista on annettu yksityiskohtaisempia ohjeistuksia. Tämän tasoisia ohjeita voidaan hyödyntää laajasti myös muiden tuotteiden kohdalla. Liian yksityiskohtaiset ohjeet eivät ole niin hyvin yleistettävissä, joten suunnitteluohjeiden tarkkuutta voidaan pitää tarkoitukseen sopivana.

Työssä luotujen suunnitteluohjeiden sisällöstä keskusteltiin mobiiliseulojen suunnittelijoiden kanssa. Ohjeet herättivät paljon keskustelua ja havaintoja. Erityisesti tuoteperheen arkkitehtuuri ja sen muutoksien vaikutukset koettiin tärkeiksi ymmärtää. Tuoteperheen arkkitehtuurin hallinta ei varsinaisesti liity yksittäisen suunnittelijan työhön, mutta siihen liittyvät päätökset ohjaavat tuotekehitystä ja suunnittelua. Suunnitteluohjeet saivat positiivisen vastaanoton suunnittelijoissa ja niiden koettiin edesauttavan modulaarisuuden hyödyntämistä jatkossa.

Tutkimusta voidaan pitää onnistuneena sekä akateemisesta että yrityksen näkökulmasta. Ohjeiden pohjana toimivaa kirjallisuusselvitystä olisi voinut tehdä laajemminkin, mutta sen laajempi käsittely ei välttämättä olisi tuonut varsinaista lisäarvoa suunnitteluohjeisiin. Käytännön kokemuksen myötä suunnitteluohjeet muovautuvat kohti parhaita käytäntöjä, kunhan käytännöstä saadut huomiot päivitetään ohjeisiin. Metson suunnittelijoilta löytyy varmasti lisää näkemystä suunnitteluohjeisiin, joista saadaan siten entistä kattavammat.

Tutkimusmenetelmää voidaan pitää toimintatutkimuksena, jota alustettiin kirjallisuusselvityksellä. Toimintatutkimuksen tarkoituksena on aikaansaada muutos organisaatiossa. Tutkimuksen aikataulun tiedettiin olevan tiukka jo työn alkuvaiheessa. Työn laajuudessa suunnitteluohjeita ei ehditty ottamaan käyttöön, joten muutostakaan ei vielä saatu aikaiseksi. Työn kannalta olisi kuitenkin ollut hyödyllistä saada suunnitteluohjeet käyttöön, jotta niistä saatua palautetta olisi voitu analysoida ja sen pohjalta jalostaa suunnitteluohjeita.

Työllä voidaan nähdä olevan uutuusarvoa, sillä vastaavia modulaarisen tuoteperheen käytännön suunnittelua käsitteleviä artikkeleita ei ole juurikaan julkaistu. Modulaarisen tuoteperheen kehitysmenetelmiä on sen sijaan useita, mutta ne eivät ota kantaa käytännön suunnitteluun ja siinä huomioitaviin asioihin. Teollisuudessa vastaavia ohjeistuksia on oletettavasti käytössä muissa modulaarisuutta hyödyntävissä yrityksissä, mutta näitä ohjeita voidaan pitää yrityksen ydinosaisena, joten ne eivät ole julkista tietoa.

Valitut tutkimuskysymykset tukevat työn tavoitteita ja vastaukset niihin tuovat arvokasta lisätietoa aiheesta ja nostavat esiin tärkeitä asioita. Vastauksista käy ilmi, että modulaarisuuden hyötyjen kerääminen tapahtuu pitkällä aikavälillä, eikä nopeita hyötyjä välttämättä saavuteta. Hyvien käytäntöjen juurruttaminen toimintatapoihin edesauttaa pitkäjänteistä toimintaa, jonka avulla modulaarisuuden hyödyt saadaan esille.

Tuotekehityksen hallintaa varten on kannattavaa luoda tuotestrategia, jonka mukaisesti tuotteita ylläpidetään ja kehitetään. Hallittu strategia kunnioittaa tuotteen arkkitehtuuria ja tuoteperheen kehitys suunnitellaan arkkitehtuuria mukaillen. Modulaarisen tuoteperheen arkkitehtuurin säilyminen on edellytyksenä toimivalle tuoteperheelle. Mobiiliseuloihin ei kohdistu samanlaista painetta uudistua vuosittain kuin esimerkiksi autoteollisuudessa, minkä vuoksi pitkäjänteinen kehitys ja arkkitehtuurin säilyminen on mahdollista.

Modulaarisuuden hyödyt eivät ainoastaan rajoitu tuotteen helpompaan valmistukseen, vaan suuri osa hyödyistä on toimitusketjussa ja jälkimarkkinoilla. Tästä johtuen modulaarisuuden hyödyt eivät ole kovinkaan nopeasti mitattavissa. Onkin tärkeää tutkia esiselvitysprojektin tuloksia riittävän kauan, jotta saadaan riittävä käsitys modulaarisuuden vaikutuksista kokonaisuutena.

Mobiiliseulojen modulaarisuuden esiselvitysprojektissa hyödynnetty Brownfield-prosessi nykyisessä muodossaan on vain muutaman vuoden vanha tuotekehitysmenetelmä. Se on kuitenkin osoittautunut toimivaksi useissa tapauksissa. Se huomioi liiketoimintanäkökulmat tuotekehityksessä ja saatujen tulosten valossa projekti vaikuttaa kannattavalta.

7. YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda suunnitteluohjeet modulaariselle tuoteperheelle. Suunnitteluohjeet luotiin kirjallisuusselvityksen pohjalta ja niihin yhdistettiin kirjoittajan näkemyksiä aiheista. Suunnitteluohjeilla pyritään helpottamaan modulaarisen tuoteperheen konkreettista suunnittelua.

Metsolla on käynnissä ST-mobiiliseuloja koskeva modulaarisuuden esiselvitysprojekti, jonka tavoitteena on luoda modulaarinen tuoteperhe pienen kokoluokan mobiiliseuloille. Projektin tarkoituksena on selvittää mobiiliseulojen avulla modulaarisen rakenteen toteuttamiskelpoisuutta. Projekti toimii oppimisalustana modulaariseen rakenteeseen. Mikäli projektista saadaan hyviä kokemuksia, on tarkoituksena lähteä toteuttamaan modulaarisuutta laajemmassa mittakaavassa läpi tuoteportfolion.

Tutkimuksen alussa asetettiin tavoitteet tutkimukselle. Modulaarisuuden esiselvitysprojektia varten tarvittiin ohjeet modulaarisen rakenteen suunnitteluun, joten suunnitteluohjeiden luominen valittiin tutkimuksen tavoitteeksi. Tämän pohjalta luotiin tutkimuskysymykset ja valittiin tutkimusmenetelmät.

Varsinainen työ aloitettiin kirjallisuusselvityksellä, jonka tarkoituksena oli luoda kirjoittajalle laaja näkemys modulaarisuudesta ja sitä edesauttavista asioista. Kirjallisuusselvitys auttoi ymmärtämään modulaarisuuteen liittyviä asioita syvemmin ja loi ymmärryksen, mitkä asiat ovat tavoiteltavia modulaarisissa rakenteissa ja mitä tulisi välttää. Modulaarisia tuotekehitysprosesseja ei varsinaisesti vertailtu, sillä yrityksellä oli jo käynnissä Brownfield-prosessiin perustuva projekti. Kirjallisuusselvityksen pohjalta kuitenkin sen voidaan todeta olevan hyvä valinta tämänkaltaiseen modulaarisen tuoteperheen kehitysprojektiin.

Kirjallisuusselvityksen avulla saatiin luotua kokonaiskäsite modulaarisuuden kannalta tärkeistä asioista. Näistä koottiin ohjeet modulaarisen tuoteperheen suunnitteluun yrityksen tarpeet huomioiden. Suunnitteluohjeiden haluttiin painottuvan käytännön suunnitteluun. Kuitenkin modulaarisissa rakenteissa tulee huomioida asioita laajemmalla näkökulmalla, eikä pelkillä loppuvaiheen suunnittelun ratkaisuilla tuotteen olemusta voida merkittävästi muuttaa. Suunnitteluohjeisiin otettiin mukaan laajempaa näkökulmaa tuotteen arkkitehtuuriin ja moduulien muodostamiseen liittyen. Nämä edesauttavat toimivan moduulijärjestelmän luomista ja sen myötä liiketoiminnallisesti kannattavaa toimintaa.

Suunnitteluohjeilla pyritään edesauttamaan esiselvitysprojektin modulaarisen tuoterakenteen toteuttamista ja parantamaan modulaarisen tuotekehityksen tulosta. Suunnitteluoh-

jeet antavat suunnittelijalle perusteet modulaarisesta suunnittelusta ja auttavat hahmottamaan kokonaisuuden. Suunnitteluohjeet eivät anna valmiita ratkaisuja ongelmiin, vaan käsittelevät asioita laajemmin. Ohjeissa on käsitelty modulaarisuuden kannalta tärkeitä teemoja ja nostettu esiin asioita, jotka tulee huomioida suunnittelussa. Suunnittelijan on tärkeää ymmärtää kokonaisuus, jotta hän voi tehdä oikealaisia päätöksiä. Ohjeiden avulla voidaan luoda toimintatapoja, jotka edesauttavat modulaarisen tuoteperheen suunnittelua.

Tuotekehityksen ja muutosten hallinta on tärkeässä roolissa modulaarisen tuoteperheen pitkäjänteisessä ylläpidossa. Ohjeilla pyritään ohjaamaan suunnittelua kohti järjestelmällisempää kehitystoimintaa, jossa muutoksia ja niiden toteutuskelpoisuutta pohditaan useammalta näkökulmalta. Eri näkökulmien huomioiminen on tärkeää, jotta modulaarinen rakenne pysyy mahdollisimman toimivana. Modulaarisen tuoterakenteen variaationhallinta on tärkeää, jotta variaatiota ei kasvateta turhaan. Modulaarisuuden hyödyt saavutetaan osien ja moduulien yleiskäyttöisyydellä useissa kohteissa, joka luo mittakaavaetua toiminnalle.

Rajapinnat ovat strategisesti tärkeitä liitoksia modulaarisessa rakenteessa, sillä ne mahdollistavat moduulien vaihtokelpoisuuden. Suunnitteluohjeissa painotetaan rajapintojen vakiointia ja yleiskäyttöisyyttä. Ohjeissa keskitytään neljään eri rajapintatyyppiin: mekaaniseen, hydrauliseen, sähköiseen ja materiaalin siirtoon. Ohjeissa esitetään asioita, jotka rajapinnan tulisi toteuttaa, mitä olisi syytä huomioida ja mitä tulisi välttää kunkin rajapintatyyppin suunnittelussa.

Moduulikohtaiset tilavaraukset mahdollistavat moduulien vaihtokelpoisuuden ja niiden suunnittelun erillisinä kokonaisuuksina. Tilavaraus luo reunaehdot ylläpitosuunnittelulle ja uusien moduulien suunnittelulle, joiden puitteissa yhteensopivuutta ympäristöön ei tarvitse tutkia. Suunnitteluohjeet tuovat esiin asioita, jotka tulee huomioida tilavarauksen määrittämisessä. Moduulikohtaisen teknologian kehitys on yksi määrittävä tekijä tilavarauksen suuruudelle.

Valmistusnäkökulma on huomioitu suunnitteluohjeissa DFMA-menetelmien lisäksi kirjoittajan kehittämällä suunnitteluperiaatteilla. Periaatteilla ei ole varsinaista teoreettista taustaa, vaan ne ovat luonteeltaan pragmaattisia. Suunnitteluperiaatteilla pyritään ohjaamaan suunnittelija tekemään järkeviä ratkaisuja hyvän valmistettavuuden mahdollistamiseksi. Suunnitteluperiaatteet keskittyvät pääsääntöisesti edesauttamaan tuotteen hyvää valmistettavuutta samalla huomioiden laitteen toiminnallisuuden vaatiman tarkkuuden. Tärkeintä on taata tuotteen toiminta mahdollisimman hyvillä ja kustannustehokkailla ratkaisuilla. Suunnitteluvaiheessa määräytyy 70 prosenttia lopputuotteen kustannuksista, joten suurin osa kustannusvastuusta on suunnittelussa (Sage & Rouse 2014, s. 522). Hyvät ratkaisut suunnittelussa mahdollistavat kilpailukykyisen valmistettavuuden tuotteille.

Modulaarisen tuotteen suunnittelu viimeistellään asianmukaisella dokumentoinnilla. Dokumentointi helpottaa moduulien uudelleenkäyttöä ja -suunnittelua. On tärkeää saada dokumentaatio helpoksi saavuttaa ja päivittää. Moduulien dokumentointi suoritetaan moduulilomakkeella, johon kerätään tärkeimmät tiedot moduulista, varianteista, rajapinnoista ja konfiguraatioista. Moduulilomakkeeseen linkitetään muut tarkemmat tiedot sen ominaisuuksista, jolloin kaikki tieto on helposti löydettävissä yhdessä paikassa. Moduulien tilavarausten ja rajapintojen dokumentointi suoritetaan 3d-mallissa, joka mahdollistaa suunnittelun reunaehtojen tuomisen suoraan mallinnukseen. Hyvä dokumentointi nopeuttaa suunnittelutyötä ja vähentää jalostamattoman työn osuutta suunnittelutyössä.

LÄHTEET

Andreasen, M.M. & Olesen, J. (1990). The Concept of Dispositions, *Journal of Engineering Design*, Vol. 1(1), pp. 17-36

Andreasen, M.M. (1988). *Design for assembly*, 2.th ed. IFS, Bedford, 212 p.

Andreasen, M.M. (2011). 45 Years with design methodology, *Journal of Engineering Design*, Vol. 22(5), pp. 293-332

Avak, B. (2006). Module sheets for adapting modular product families, 9th International Design Conference, DESIGN 2006, May 15-18, 2006, Dubrovnik, Croatia, pp. 783-790

Bernhofen, D.M., El-Sahli, Z., Kneller, R. (2016). Estimating the effects of the container revolution on world trade, *Journal of International Economics*, Vol. 98, pp. 36-50

Blackenfelt, M. (2001). *Managing complexity by product modularisation*, Royal Institute of Technology, 90 p.

Bongulielmi, L., Helseler, P., Puls, C. & Meier, M. (2002). The K- & V- Matrix-Method in Comparison with Matrix Based Methods supporting Modular Product Family Architectures, *Proceedings of NordDesign 2002*, August 14–16, 2002, NTNU, Trondheim, Norway, 8 p.

Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W.A. & Knight, W.A. (2011). *Product design for manufacture and assembly*, 3rd ed. CRC Press, Boca Raton, Fla, 670 p.

Borowski, K. (1961). *Das Baukastensystem in der Technik*, 1st ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 106 p.

Clark, K.B. & Baldwin, C.Y. (2000). *Design Rules, Volume 1: The Power of Modularity*, 1st ed. The MIT Press, 483 p.

Clarkson, P.J., Simons, C. & Eckert, C. (2004). Predicting Change Propagation in Complex Design, *Journal of Mechanical Design*, Vol. 126(5), pp. 788-797

Corbett, J. (1987). How design can boost profit, (*Eureka Transfer Technology*), pp. 59-65

Edwards, K.L. (2002). Towards more strategic product design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering, *Materials & Design*, Vol. 23(7), pp. 651-656

- Erixon, G. (1994). MFD - Modular Function Deployment, The Royal Institute of Technology.
- Erixon, G. (1998). Modular Function Deployment - A Method for Product Modularisation, The Royal Institute of Technology, 188 p.
- Favi, C. & Germani, M. (2012). A method to optimize assemblability of industrial product in early design phase: from product architecture to assembly sequence, *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, Vol. 6(3), pp. 155-169
- Fujimoto, T. (2007). *Competing to Be Really, Really Good: The Behind-The-Scenes Drama of Capability-Building Competition in the Automobile Industry*, 1st English ed. ed. International House of Japan, Tokyo, Japan, 156 p.
- Grout, J. (2007). *Mistake-Proofing the Design of Health Care Processes*, Agency for Healthcare Research and Quality, Rockville, Maryland, 166 p.
- Hansen, P. & Sun, H. (2010). A comprehensive view on benefits from product modularization, *Proceedings of DESIGN 2010*, Dubrovnik, Croatia, pp. 233-242
- Harlou, U. (2006). *Developing product families based on architectures - Contribution to a theory of product families*, Technical University of Denmark, 189 p.
- Holmqvist, T. (2004). *Managing Product Variety through Product Architecture*, Chalmers University of Technology, Sweden, 101 p.
- Holt, R. & Barnes, C. (2010). Towards an integrated approach to "Design for X": an agenda for decision-based DFX research, *Research in Engineering Design*, Vol. 21(2), pp. 123-136
- Höltkä, K.M.M. & Otto, K.N. (2005). Incorporating design effort complexity measures in product architectural design and assessment, *Design Studies*, Vol. 26(5), pp. 463-485
- Juuti, T. (2008). *Design Management of Products with Variability and Commonality - Contribution to the Design Science by elaborating the fit needed between Product Structure, Design Process, Design Goals, and Design Organisation for Improved R&D Efficiency*, Tampere University of Technology, 177 p.
- Kreimeyer, M., Förg, A. & Lienkamp, M. (2014). *Fostering modular kits in an industrial brownfield environment*, 2014, Budapest, Hungary, 12 p.
- Kuo, T., Huang, S.H. & Zhang, H. (2001). Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives, *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 41(3), pp. 241-260

Lahtinen, T. (2011). Design for Manufacturing and Assembly Rules and Guidelines for Engineering, Tampere University of Technology, 77 p.

Lapinleimu, I. (2000). Ideaalitehdas: tehtaan suunnittelun teorian kiteytys, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere, 197 s.

Lau, A.K.W. (2011). Critical success factors in managing modular production design: Six company case studies in Hong Kong, China, and Singapore, Journal of Engineering and Technology Management, Vol. 28(3), pp. 168-183

Lawson, B., Krause, D. & Potter, A. (2015). Improving Supplier New Product Development Performance: The Role of Supplier Development, Journal of Product Innovation Management, Vol. 32(5), pp. 777-792

Lehtonen, T. (2007). Designing modular product architecture in the new product development, Tampere University of Technology, 220 p.

Lehtonen, T., Pakkanen, J., Järvenpää, J., Lanz, M. & Tuokko, R. (2011). Brownfield process for developing of product families, Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, ICED 11, August 15-18, 2011, vol. 4, The Design Society, Glasgow, pp. 248-257.

Lehtonen, T. ”Rasti 5 – CSL”, Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: https://moodle2.tut.fi/pluginfile.php/507973/mod_resource/content/1/Rasti%205%20CSL_v01a.pdf

Leikko, K. Diplomi-insinööri, Tuotannonohjausinsinööri, Metso Minerals Oy, Tampere, Haastattelu 12.9.2018.

Lokotrack ST2.4 mobile scalping screen, Metso Media Bank, web page. Saatavissa: <https://metso.mediafiles.fi/catalog/Media+Bank/r/11913/viewmode=pre-viewview/fc=35%3A95>.

Lokotrack ST2.8 Mobile scalping screen, Metso Media Bank, web page. Saatavissa: <https://metso.mediafiles.fi/catalog/Media+Bank/r/10035/viewmode=pre-viewview/fc=35%3A95>.

Metso Vuosikatsaus, (2017). Metso Oyj, 44 p. Saatavissa: <http://hugin.info/3017/R/2171270/836646.pdf>.

Miller, T. & Elgård, P. (1998). Defining Modules, Modularity and Modularization: Evolution of the Concept in a Historical Perspective, Design for Integration in Manufacturing, 1998, Fuglsoe, 19 p.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K. (2007). Engineering design: a systematic approach, 3rd; Third ed. Springer, London; Berlin, 617 p.

Pakkanen, J. (2015). Brownfield Process: A Method for the Rationalisation of Existing Product Variety towards a Modular Product Family, Tampere University of Technology,

Pakkanen, J., Juuti, T. & Lehtonen, T. (2016). Brownfield Process: A method for modular product family development aiming for product configuration, Design Studies, Vol. 45 pp. 210-241

Parslov, J.F. & Mortensen, N.H. (2015). Interface definitions in literature: A reality check, Concurrent Engineering, Vol. 23(3), pp. 183-198

Pine, J. (1993). Mass Customization: The New Frontier in Business Competition, Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 333 p.

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. Toimintatutkimus, Luku 5.4. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto, Saatavissa: https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L5_4.html.

Sage, A.P. & Rouse, W.B. (2014). Handbook of Systems Engineering and Management, John Wiley & Sons, Incorporated, Chicester, 1463 p.

Shingo, S. (1986). Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system, Productivity Press, Portland (OR), 303 p.

Ulrich, K.T. & Eppinger, S.D. (2012). Product design and development, 5th ed. McGraw-Hill Irwin, New York, NY, 415 p.

Whitney, D.E. (2004). Mechanical assemblies: their design, manufacture, and role in product development, Oxford University Press, New York, 517 p.

LIITE A: SUUNNITTELUOHJEET MODULAARISELLE TUOTE- PERHEELLE

Valitettavasti liite sisältää salattua materiaalia, eikä sitä voida esittää tämän opinnäytetyön julkisessa versiossa.